



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

**ESTUDO HIDROQUÍMICO E DOS ISÓTOPOS DE URÂNIO NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM CIDADES DO ESTADO DO AMAZONAS (AM)**

Márcio Luiz da Silva

Orientador: Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto

Tese apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP – Campus de Rio Claro, para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente, área de concentração em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro – SP

2005

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Uriel Duarte
IG/USP/SÃO PAULO-SP

Prof. Dr. Francisco Yukio Hiodo
IAG/USP/SÃO PAULO-SP

Dr. Flavio Juarez Távora
AUTÔNOMO/RIO DE JANEIRO-RJ

Prof. Dra. Elisabete Maria Pascholati
IG/UNICAMP/SÃO PAULO-SP

Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto
Orientador

Aluno: Márcio Luiz da Silva

Rio Claro, 23 de junho de 2005.

Resultado: Aprovado _____

FICHA CATALOGRÁFICA

551.9 Silva, Márcio Luiz da
S586es Estudo hidroquímico e dos isótopos de urânio nas águas
subterrâneas em cidades do estado do Amazonas (AM) /
Márcio Luiz da Silva. – Rio Claro : [s.n.], 2005
178 f. : il., gráfs., tabs., fots., mapas

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Institu-
to de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Daniel Marcos Bonotto

1. Geoquímica. 2. Água subterrânea. 3. Isótopo de urânio.
I. Título.

Em especial

À minha Assunção Raquel Lourido B. Silva, pelo amor, respeito e dedicação. Minha grande incentivadora. E à minha filha Luiza L. Barreto Silva, *in memorium*.

Aos meus pais

**Geraldo Gabriel da Silva e Benta Souza da Silva,
pelo amor, respeito e oportunidades que me
proporcionaram. Tenho orgulho de vocês.**

Aos meus irmãos

**Sônia, Marcos, Sheila e Suely e aos cunhados
Jacinara Silva e Anderson Teles, pelo amor,
amizade, companheirismo e momentos felizes. À
minha tia Dorinha e aos sobrinhos, Nailê,
Gabriel, Lucas, Claraelis e o grande Pedro. Amo
vocês!!!**

Aos meus amores

**“Emanuele Gurgel F. Melo e minha filha Yebá
Gurgel F. M. Silva”. Manu, tudo ficou mais
fácil com você. Minhas estrelas, amo vocês!!!**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista – UNESP e ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas IGCE-UNESP, pela oportunidade do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto, orientador e incentivador perseverante, permitindo a tranqüilidade necessária para a elaboração da Tese, não tendo faltado com seu esforço solidário em momento algum. Meu amigo, muito obrigado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pela bolsa de estudos concedida e apoio financeira para a execução do projeto.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, onde se realizou parte deste projeto, em particular aos pesquisadores Maria do Socorro R. da Silva, Sebastião Átila F. Miranda, Ari de O. Marques Filho, Hillandia Brandão da Cunha, Sávio J. F. Ferreira, Antonia G. N. Pinto, Sérgio B. Bringel e técnicos Walter Jorge, Luis Vilmar, Andréa Leiros, Ednelson Barauna, Maria Carmendes, Raimundo Barbosa, Soraya Rondon e Tânia Maria.

À Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais - CPRM, pelo auxílio na logística e em particular ao Geol. Carlos Aguiar e ao Geog. Hilton.

Ao Eng. Valderino P. da Silva – setor de engenharia do porto de Manaus, pela disponibilidade dos dados hidrográficos.

Ao amigo Dr. José Roberto Gnecco (Beto), pela grande força e incentivo oferecido. Sempre pronto a ajudar.

Aos amigos Dr. Clauzionor e Dra. Solange, pelo estímulo ao desenvolvimento deste trabalho e pela predisposição em ajudar.

Às amigas Dra. Kátia Regina e Dra. Valquiria Porfírio, pelos incentivos constantes e pelo carinho.

À amiga Silvia Dantas, pelo apoio e pela visão holística do mundo. Um mundo sem barreiras...

Aos amigos Francisco Altevi Freitas Melo, Maria Francisca Gurgel Melo e Estefani Gurgel F. Melo. Obrigado pelo apoio, pela força e por terem me acolhido em vosso Lar. Sem contar com o carinho que nunca faltou.

Ao Dr. Arnaldo Carneiro – INPA, pela compreensão e apoio concedido na finalização deste estudo.

Ao Dr. Fernando Guedes, Eng. Marcelo Guedes (*in memorium*), Maria Sebastiana Guedes (Tiana), Victoria Guedes e Ricardo Guedes, pela solidariedade e pelos momentos felizes.

Aos amigos de Manaus que, apesar de não citados, prestaram preciosa colaboração.

Mais uma vez, muito obrigado a todos.

**“Como se deve palmilhar a encosta?
Sobe e não penses nisto”.**
(Friedrich W. Nietzsche)

SUMÁRIO

ÍNDICE.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE TABELAS.....	xx
LISTA DE QUADROS.....	xxii
RESUMO.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. O CICLO HIDROLÓGICO E A OCORRÊNCIA DE URÂNIO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	04
3. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	69
5. RESULTADOS.....	79
6. DISCUSSÃO.....	121
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	145
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXO 01. Valores e percentuais das variáveis em mEq.L^{-1} , resultados das análises de urânio e valores médios para as águas subterrâneas em cidades do estado do Amazonas.....	160
ANEXO 02. Logística de amostragem.....	168

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVOS.....	03
3. O CICLO HIDROLÓGICO E A OCORRÊNCIA DE URÂNIO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	04
3.1 Recursos hídricos.....	04
3.1.1 Ciclo hidrológico.....	09
3.1.1.1 Água subterrânea.....	12
3.2 Urânio.....	18
4. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
4.1 Amazônia.....	23
4.1.1 Aspectos climáticos e hidrográficos.....	23
4.1.2 Geologia regional e estrutural.....	30
4.2 Itacoatiara.....	38
4.3 Rio Preto da Eva.....	40
4.4 Manacapuru.....	41
4.5 Iranduba.....	42
4.6 Presidente Figueiredo.....	43
4.7 Manaus.....	44
4.8 Parintins.....	45
4.9 Barreirinha.....	46
4.10 Maués.....	47
4.11 Boa Vista do Ramos.....	49
4.12 Urucará.....	50
4.13 São Sebastião do Uatumã.....	51
4.14 Tefé.....	51
4.15 Alvarães.....	52
4.16 Uarini.....	53
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	69
5.1 Amostragem.....	69
5.2 Procedimentos laboratoriais.....	71

5.2.1 Principais variáveis físicos, químicos e físico-químicos.....	71
5.2.2 Urânio.....	72
5.2.2.1 Espectrometria alfa e calibração do sistema.....	76
5.2.2.2 Teor de urânio dissolvido e razão de atividade (RA).....	77
5.3 Características e classificação das águas.....	78
6. RESULTADOS.....	79
6.1 Itacoatiara.....	70
6.2 Rio Preto da Eva.....	81
6.3 Manacapuru.....	81
6.4 Iranduba.....	82
6.5 Presidente Figueiredo.....	83
6.6 Manaus.....	84
6.7 Parintins.....	85
6.8 Barreirinha.....	86
6.9 Maués.....	87
6.10 Boa Vista do Ramos.....	88
6.11 Urucará.....	89
6.12 São Sebastião do Uatumã.....	90
6.13 Tefé.....	91
6.14 Alvarães.....	92
6.15 Uarini.....	93
6.16 Características e classificação das águas de acordo com os cátions e ânions dissolvidos.....	102
7. DISCUSSÃO.....	121
7.1 Hidrogeologia.....	121
7.2 Hidroquímica.....	123
7.2.1 Variáveis físicas e físico-químicos.....	123
7.2.2 Variáveis químicas.....	128
7.2.3 Urânio dissolvido e razão de atividade (RA).....	137
8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	145
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147

ANEXO 01. Valores e percentuais das variáveis em mEq.L ⁻¹ , resultados das análises de urânio e valores médios para as águas subterrâneas em cidades do estado do Amazonas.....	160
ANEXO 02. Logística de amostragem.....	168

LISTA DE FIGURAS

Figura 01.	Complexo para tratamento de água desativado na cidade de Tefé - AM - 2002....	05
Figura 02.	Distribuição de água não tratada no bairro de Novo Israel na cidade de Manaus - AM - 2002.....	06
Figura 03.	Palafitas sobre igarapé na avenida sete de setembro - Manaus - AM - 2000.....	08
Figura 04.	Esquema simplificado do ciclo hidrológico (Karmann, 2000; Manoel Filho, 2000).....	11
Figura 05.	Zonas da água em subsuperfície (Adaptado de Maciel Filho, 1997; Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).....	15
Figura 06.	Tipos de aquíferos (Modificado de Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).....	17
Figura 07.	Poço com 15 metros de profundidade e fratura em parede causada pelo afundamento do substrato areno-argiloso em residência na zona Leste de Manaus - AM - 2003.....	18
Figura 08.	Cadeia natural de decaimento radioativo do Urânio ($4n+2$) (Adaptado de Ku, 1976).....	22
Figura 09.	Mapas de circulação atmosférica, temperatura, pluviosidade e tipologia climática do estado do Amazonas (Nimer, 1989a).....	26
Figura 10.	Cotas máximas mensais do nível do rio Negro (acima do nível do mar) de janeiro de 1999 a julho de 2003 (Dados obtidos no Setor de Engenharia Portuária de Manaus - AM).....	28
Figura 11.	Localização das Sub-Bacias Sedimentares do Acre, Alto e Médio Amazonas com altos estruturais e alguns alinhamentos no estado do Amazonas (Modificado de Eiras et al., 1994).....	31
Figura 12.	Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas (Adaptado de Cunha et al., 1994).....	33
Figura 13.	Mapa geológico da área de estudo e localização das cidades selecionadas para coleta de amostras de águas subterrâneas no estado do Amazonas. Fonte: CPRM, 2002.....	36
Figura 14.	Margem esquerda do rio Amazonas, município de Itacoatiara - AM – 2002.....	37
Figura 15.	Embarcações na zona portuária de Itacoatiara – rio Amazonas.....	38

Figura 16.	Poço tubular de propriedade do SAAE – coleta de amostra em Itacoatiara – AM – 2000.....	39
Figura 17.	Prédio onde a água dos poços é clorada para o consumo da população de Itacoatiara – AM – 2000.....	39
Figura 18.	Laboratório do SAAE em Itacoatiara – AM - 2000.....	40
Figura 19.	Rio Preto da Eva, município de Rio Preto da Eva – AM.....	40
Figura 20.	Coleta de amostra em poço tubular na cidade de Manacapuru – AM – 2001.....	42
Figura 21.	Corredeira de Urubui em Presidente Figueiredo – AM - 2001.....	43
Figura 22.	Vista parcial da zona portuária de Manaus - AM a partir do rio Negro – 2002.....	44
Figura 23.	Vista parcial da cidade de Parintins – AM – 2001.....	45
Figura 24.	Vista parcial da Vila Amazônia – Parintins – AM – 2001.....	46
Figura 25.	Vista parcial da zona portuária da cidade de Barreirinha – AM – 2001.....	47
Figura 26.	Vista parcial da zona portuária da cidade de Maués – AM – 2002.....	48
Figura 27.	Vista parcial da vila de Vera Cruz – Maués – AM – 2002.....	48
Figura 28.	Vista parcial da vila de Canarana – Maués – AM – 2002.....	49
Figura 29.	Vista parcial da cidade de Boa Vista do Ramos – AM – 2002.....	50
Figura 30.	Vista parcial da cidade de Urucará – AM – 2002.....	50
Figura 31.	Vista parcial da cidade de São Sebastião do Uatumã – AM - 2002.....	51
Figura 32.	Praia da zona portuária de Tefé – AM – 2002.....	52
Figura 33.	Vista parcial da cidade de Alvarães – AM – 2002.....	53
Figura 34.	Vista parcial da cidade de Uarini – AM – 2002.....	53
Figura 35.	Mapa de localização do município de Itacoatiara e poços amostrados.....	60
Figura 36.	Mapa de localização do município de Rio Preto da Eva e poços amostrados.....	61
Figura 37.	Mapa de localização do município de Manacapuru e poços amostrados.....	62
Figura 38.	Mapa de localização do município de Iranduba e poços amostrados.....	63
Figura 30.	Mapa de localização do município de Presidente Figueiredo e poços amostrados.....	64
Figura 40.	Mapa de localização do município de Manaus e poços amostrados.....	65
Figura 41.	Mapa de localização do município de Parintins e poços amostrados.....	66
Figura 42.	Mapa de localização do município de Barreirinha e poços amostrados.....	67
Figura 43.	Mapa de localização do município de Maués e poços amostrados.....	68
Figura 44.	Mapa de localização do município de Boa Vista do Ramos e poços amostrados..	69

Figura 45.	Mapa de localização do município de Urucará e poços amostrados.....	70
Figura 46.	Mapa de localização do município de São Sebastião do Uatumã e poços amostrados.....	71
Figura 47.	Mapa de localização do município de Tefé e poços amostrados.....	72
Figura 48.	Mapa de localização do município de Alvarães e poços amostrados.....	73
Figura 49.	Mapa de localização do município de Urini e poços amostrados.....	74
Figura 50.	Poço em funcionamento antes da coleta de amostra – vila Amazônia - Parintins - AM – 2001.....	70
Figura 51.	Diagrama Eh-pH das águas amostradas em cidades do estado do Amazonas (Langmuir, 1978).....	94
Figura 52.	Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Itacoatiara (01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07), Rio Preto da Eva (08) e Presidente Figueiredo (19 e 20) do estado do Amazonas.....	103
Figura 53.	Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas das cidades de Itacoatiara (01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07) Rio Preto da Eva (08) e Presidente Figueiredo (19 e 20) no Estado do Amazonas.....	104
Figura 54.	Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Manacapuru (09, 10, 11, 12, 13, 14 e 15) e Iranduba (16, 17 e 18) do estado do Amazonas.....	105
Figura 55.	Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas nas cidades de Manacapuru e Iranduba do Estado do Amazonas.....	106
Figura 56.	Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas na cidade de Manaus no Estado do Amazonas	108
Figura 57.	Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas da cidade de Manaus no estado do Amazonas.....	109
Figura 58.	Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Parintins (45, 46, 47, 48, 49 e 50) e Barreirinha (51 e 52) do estado do Amazonas.....	110
Figura 59.	Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas nas cidades de Parintins e Barreirinha do estado do Amazonas.....	111

Figura 60.	Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Maués (53, 54, 55, 56, 57 e 58) e Boa Vista do Ramos (59 e 60) do estado do Amazonas.....	114
Figura 61.	Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas das cidades de Maués e Boa Vista do Ramos do estado do Amazonas.....	115
Figura 62.	Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Urucará (61, 62, 63, 64, 65, 66, 67 e 68) e Sebastião do Uatumã (69, 70 e 71) do estado do Amazonas.....	116
Figura 63.	Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas das cidades de Urucará e São Sebastião do Uatumã do estado do Amazonas.....	117
Figura 64.	Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas das cidades de Tefé, Alvarães e Uarini do estado do Amazonas (Modificado).....	118
Figura 65.	Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas das cidades de Tefé, Alvarães e Uarini do estado do Amazonas.....	119
Figura 66.	Distribuição dos cátions e ânions dissolvidos (mEq.L^{-1}) das águas amostradas em cidades do estado do Amazonas.....	120
Figura 67.	Temperatura ambiente versus temperatura das águas subterrâneas amostradas em cidades no estado do Amazonas.....	125
Figura 68.	Distribuição de magnésio e cálcio dissolvidos nas águas subterrâneas amostradas nas cidades no estado do Amazonas.....	130
Figura 69.	Distribuição dos valores médios das razões de atividades ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) e incertezas analíticas das águas subterrâneas em cidades do estado do Amazonas.....	138
Figura 70.	Comparação dos dados isotópicos das amostras de águas subterrâneas coletadas em cidades do estado do Amazonas com águas de Gomes (1978), Bonotto (1982 e 1986) e Silva (1999), baseada na concentração de urânio ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e RA, de acordo com diagrama de Cowardt & Osmond (1980).....	141
Figura 71.	Blocos diagramas da superfície topográfica com localização de poços amostrados e do nível hidrostático com direção do fluxo subterrâneo e distribuição de RA da cidade de Manaus – AM.....	143

Figura 72.	Mapa geológico da área de estudo e blocos diagramas da distribuição de cátions e ânions, urânio dissolvido, RA, temperatura média das águas subterrâneas amostradas e altitude das cidades no estado do Amazonas.....	144
Figura 73.	Área urbana da cidade de Rio Preto da Eva - AM – 2000.....	173
Figura 74.	Balsa para travessia do rio Negro – Cacau Pireira – Iranduba – AM – 2003.....	170
Figura 75.	Coleta de amostra em poço tubular– Iranduba – AM – 2001.....	171
Figura 76.	Redes em barcos geralmente utilizadas em viagens de longo percurso – Manaus – AM – 2002.....	172
Figura 77.	Poços amostrados na cidade de Parintins– AM – 2001.....	173
Figura 78.	Coleta de amostra em vila Amazônia Parintins– AM – 2001.....	174
Figura 79.	Coleta de amostra em vila Vera Cruz - Maués – AM – 2002.....	175
Figura 80.	Coleta de amostra em poço tubular em vila Canarana - Maués– AM – 2002.....	175
Figura 81.	Barco de linha de Maués à vila Canarana – Paraná do Urariá de Cima – AM – 2002.....	176
Figura 82.	Foto aérea sobre o rio Solimões próximo à cidade de Tefé - AM – 2002.....	177
Figura 83.	Coleta de amostra na cidade de Alvarães – AM – 2002.....	178
Figura 84.	Acesso à cidade de Uarini pelo rio Solimões – AM – 2002.....	178

LISTA DE TABELAS

Tabela 01.	Dados gerais dos poços amostrados nas cidades de Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Manacapuru, Iranduba e Presidente Figueiredo – AM.....	95
Tabela 01a.	Dados gerais dos poços amostrados na cidade de Manaus – AM.....	96
Tabela 01b.	Dados gerais dos poços amostrados nas cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos e Urucará – AM.....	97
Tabela 01c.	Dados gerais dos poços amostrados nas cidades de São Sebastião do Uatumã, Tefé, Alvarães e Uarini – AM.....	98
Tabela 02.	Valores das variáveis analisadas nas águas subterrâneas nas cidades de Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo e Manaus – AM.....	99
Tabela 02a.	Valores das variáveis analisadas nas águas subterrâneas nas cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos e Urucará – AM.....	100
Tabela 02b.	Valores das variáveis analisadas nas águas subterrâneas nas cidades de São Sebastião do Uatumã, Tefé, Alvarães e Uarini – AM.....	101
Tabela 03.	Valores das variáveis em mEq.L^{-1} das águas amostradas nas cidades de Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo e Manaus – AM.....	161
Tabela 03a.	Valores das variáveis em mEq.L^{-1} das águas amostradas nas cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos, Urucará, São Sebastião do Uatumã, Tefé, Alvarães e Uarini – AM.....	162
Tabela 04.	Percentuais das variáveis em mEq.L^{-1} das águas amostradas nas cidades de Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo e Manaus – AM.....	163
Tabela 04a.	Percentuais das variáveis em mEq.L^{-1} das águas amostradas nas cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos, Urucará, São Sebastião do Uatumã, Tefé, Alvarães e Uarini – AM.....	164

Tabela 05.	Resultados das análises de urânio para as águas subterrâneas nas cidades de Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo e Manaus – AM.....	165
Tabela 05a.	Resultados das análises de urânio para as águas subterrâneas nas cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos, Urucará, São Sebastião do Uatumã, Tefé, Alvarães e Uarini – AM.....	166
Tabela 06.	Valores médios das variáveis analisadas nas águas subterrâneas amostradas de Manaus, Formação Alter do Chão (FAC) e cidades (Geral) no estado do Amazonas – AM.....	167

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Metodologias para determinação hidroquímica das amostras coletadas.....	72
---	----

ESTUDO HIDROQUÍMICO E DOS ISÓTOPOS DE URÂNIO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM CIDADES DO ESTADO DO AMAZONAS (AM)

Autor: MÁRCIO LUIZ DA SILVA

Orientador: DANIEL MARCOS BONOTTO

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo investigar a hidroquímica elementar, assim como o comportamento geoquímico dos isótopos de ^{238}U e ^{234}U nas águas de subsuperfície em quinze cidades do estado do Amazonas, de maneira a proceder a caracterização de contaminantes ou poluentes que possam estar afetando a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, bem como avaliar a potencialidade do uso dos isótopos naturais de urânio como traçadores hidrológicos nas águas estudadas.

Os resultados obtidos para os parâmetros analisados mostram que as águas estudadas são excelentes para o consumo humano, por se situarem dentro dos limites de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente.

No que diz respeito aos isótopos de urânio, verifica-se que foram determinados valores de razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ entre 1 e 3,5 e de concentração de urânio ^{238}U entre $0,01 \mu\text{gL}^{-1}$ e $1,4 \mu\text{gL}^{-1}$. Esses resultados e os determinados para outros parâmetros analisados, permitiram classificar os ambientes hidrológicos como redutores, com circulação das águas por estratos contendo minerais com baixas concentrações de urânio.

Na cidade de Manaus foi observado acréscimo de razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ na fase líquida no sentido do fluxo subterrâneo. Foram identificadas quatro regiões com tendência de aumento de razão de atividade, no sentido de Uarini a Tefé, Manacapuru a Manaus, Presidente Figueiredo a São Sebastião do Uatumã e Boa Vista do Ramos a Barreirinha, relacionadas a possíveis feições estruturais, à declividade da área de estudo, ao estreitamento da Bacia Sedimentar do Amazonas a partir do seu curso médio, e drenagem orientada pela tectônica.

Palavras-chave: Geoquímica, água subterrânea, Amazonas, isótopos de urânio.

HYDROCHEMICAL STUDY AND HYDROGEOCHEMISTRY OF THE URANIUM ISOTOPES IN GROUNDWATERS FROM CITIES OF THE AMAZONAS STATE

Author: MÁRCIO LUIZ DA SILVA

Adviser: DANIEL MARCOS BONOTTO

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to evaluate the hydrochemistry and the geochemical behavior of uranium isotopes (^{234}U e ^{238}U) in groundwaters from cities of the Amazonas State. It intends to verify whether concentrations of one or more dissolved constituents are in such high levels to be considered harmful for consumption. It also aims to evaluate the possible use of the uranium isotopes as natural tracers on the studied aquifers.

The obtained data show that the groundwater is appropriate for drinking and industrial purposes, in accordance with the maximum limits established by the legislation.

Concerning the uranium isotopes data, the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio ranges between 1 and 3.5, whereas the total ^{238}U uranium concentration from $0.01 \mu\text{gL}^{-1}$ up to $1.4 \mu\text{gL}^{-1}$. These and other results allowed classify the hydrological environment as reducing, with water circulating through strata containing minerals with low uranium concentration.

The $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio in the liquid phase increased in the direction of the underground flow in Manaus city. In the direction from Uarini to Tefé, from Manacapuru to Manaus, from Presidente Figueiredo to São Sebastião do Uatumã and from Boa Vista do Ramos to Barreirinha it was verified a $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio increase possibly related to geologic structures, declivity of the areas, narrowing of the Amazonic sedimentary basin from its middle course, and drainage guided by tectonics.

Key-words: Geochemistry, groundwater, Amazon, uranium isotopes.

1. INTRODUÇÃO

A água é um bem mineral renovável, embora alguns autores classifiquem as águas subterrâneas como não renováveis, devido ao longo período requerido para a sua renovação, em comparação com a escala de tempo da vida humana. A água é renovável, pelo menos no sentido de que o ciclo hidrológico evapora a água dos oceanos e devolve grande parte dessa água para os continentes, de onde retorna, ao oceano.

A América Latina possui aproximadamente 25% dos 40 milhões de km³ de água que escoam, anualmente, no mundo, sendo o Brasil o país mais rico em água, detendo quase 19% desse total. A acessibilidade e a excelente qualidade natural, associados às águas subterrâneas, justificam sua ampla utilização no abastecimento público, em muitas regiões úmidas (Morais, 1995; Bourlon & Berthon, 1998).

A água, ao infiltrar no solo, vai adquirindo características químicas que fornecem informações do meio circulante, quanto à qualidade e aplicabilidade. A radioatividade natural das águas é decorrente da presença de isótopos existentes nas rochas e solos, que são liberados durante sua infiltração, face às reações que ocorrem com os minerais aos quais interage. Os principais radionuclídeos que contribuem para a radioatividade do meio ambiente são o Potássio-40, o Rubídio-87 e os que formam as séries do Urânio-238, Urânio-235, Tório-232 entre outros menos abundantes.

Há vários anos, crescente interesse passou a ser dirigido aos isótopos de urânio ²³⁴U e ²³⁸U, que começaram a ser empregados em hidrologia com diversas finalidades. Interesse também quanto à radioatividade natural desses elementos, uma vez que esta é responsável por cerca de 70% da dose total da radiação recebida pela população (Lima et al., 1993). Com referência aos isótopos de urânio, o critério empregado no Brasil para limitar a exposição às emissões é baseado na Portaria nº 36 de 19/01/90 do Ministério da Saúde, a qual estabelece o valor de referência de 0,1 Bq.L⁻¹ para a radioatividade alfa total e de 1 Bq.L⁻¹ para a radioatividade beta. A identificação dos radionuclídeos presentes nas águas e a medida de suas concentrações é prevista quando, numa primeira avaliação, os valores encontrados excedem os de referência para a radioatividade alfa e beta total, situação na qual se aplicam os critérios estabelecidos pelo Conselho Nacional de Energia Nuclear - CNEN (1988) para estabelecer a potabilidade das águas, onde para ²³⁸U e ²³⁴U, os limites de ingestão anual correspondem a 5 x 10⁵ e 4 x 10⁵ Bq, respectivamente.

A utilização de água subterrânea para o abastecimento público e industrial, vem crescendo em todo o globo. Na Região Amazônica, estão 80% da água doce disponível no Brasil e os demais 20% se distribuem, desigualmente, pelo restante do país para atender a 95% da população brasileira (Radiobrás, 1997). Na Amazônia, tem-se observado crescente perspectiva de exploração dessa água, por apresentar vantagens práticas e econômicas quanto a sua captação, além de dispensar tratamentos, por ser de excelente qualidade.

Poços exploratórios de aquíferos no estado do Amazonas começaram a ser perfurados a partir de 1976 (Souza, 1994), quando alguns trabalhos relacionados à hidroquímica de águas superficiais e subterrâneas foram realizados. Contudo, há apenas uma única abordagem experimental enfocando a presença de isótopos de urânio, isto, na cidade de Manaus, por Silva (1999), que averiguou um decréscimo no enriquecimento do ^{234}U na fase líquida, de acordo com a direção do fluxo subterrâneo, que é uma tendência oposta em relação à descrita na literatura (Gomes, 1978).

Por intermédio do desenvolvimento deste trabalho pretende-se investigar a hidroquímica elementar e o comportamento geoquímico dos isótopos de urânio ^{238}U e ^{234}U em águas de subsuperfície em cidades do estado do Amazonas, caracterizando contaminantes ou poluentes que poderiam estar afetando a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e a avaliando a potencialidade do uso dos isótopos naturais de urânio como traçadores hidrológicos nas águas estudadas.

2. OBJETIVOS

Por intermédio do desenvolvimento deste trabalho, pretende-se investigar a hidroquímica elementar assim como o comportamento geoquímico dos isótopos de urânio ^{238}U e ^{234}U em águas de subsuperfície nas cidades de Uarini, Alvarães, Tefé, Iranduba, Manacapuru, Manaus, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva, Itacoatiara, São Sebastião do Uatumã, Boa Vista do Ramos, Urucará, Maués, Barreirinha e Parintins no estado do Amazonas, onde for possível o acesso a poços tubulares. Pretende-se também, caracterizar os contaminantes ou poluentes que possam estar afetando a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, bem como a avaliação da potencialidade do uso dos isótopos naturais de urânio como traçadores hidrológicos nas águas estudadas.

3. O CICLO HIDROLÓGICO E A OCORRÊNCIA DE URÂNIO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

3.1 Recursos hídricos

O Brasil apresenta grande variabilidade espacial na sua disponibilidade hídrica. Em média, o país é abundante em quantidade de águas superficiais, chegando a valores médios de precipitação anuais de 2.800 mm na Amazônia e 3.400 mm nas nascentes do rio Negro e no estado do Amapá, e altos valores de descarga específica média (mais de 30 L/s/km²). Por outro lado, no sertão nordestino, as médias de totais anuais de precipitação não passam de 600 mm, levando a descargas específicas bem baixas, da ordem de 4 L/s/km². Mesmo valores de 600 mm, não são tão rigorosos quanto os registrados em regiões desérticas do mundo que acabaram por desenvolver sua agricultura, onde um dos melhores exemplos é a Califórnia, uma das regiões mais ricas do mundo (Leal, 1998).

Em torno de vinte por cento da água de escoamento global origina-se exclusivamente na Bacia Amazônica, enquanto algumas partes da América do Sul são as mais secas da Terra: o índice pluviométrico anual de Arica, no Chile, comumente gira em torno de zero, e na primeira metade do século XX assim se manteve por quarenta anos consecutivos (Villiers, 2002).

A Antártida é gelada e a Austrália é árida, e juntas contribuem pouco com a água de escoamento global. O escoamento da Europa e da Ásia está bastante próximo da média mundial; é mais baixo na África e na América do Norte e muito mais alto na América do Sul - novamente por causa do rio Amazonas. Os Grandes Lagos da América do Norte, o maior sistema lacustre do Planeta, somam 27% do volume total dos lagos no mundo. Dos 28 maiores rios do mundo, três estão na África (Congo, Níger e Nilo, que juntos são responsáveis por um escoamento de 1.982 km³/dia de água); quatro na América do Sul (Amazonas, Paraná, Orenoco e Madalena, totalizando um escoamento de 8.829 km³/dia); onze na Ásia; cinco na América do Norte e somente dois estão na Europa (Villiers, 2002).

O Brasil possui a maior quantidade de água doce, ou seja, um quinto de toda reserva global. Vários países da antiga União Soviética estão em segundo lugar, coletivamente, com 10,6% de reservas. A China (5,7%) e o Canadá (5,6%) são os terceiro e quarto (*Op. cit.*, 2002).

No Brasil são escassas as informações sobre as demandas dos principais usos da água, tendo-se somente informações difusas ou estimativas a partir de taxas de consumo para determinadas atividades. De acordo com dados do IBGE (2002), há no Brasil uma demanda diária de água distribuída de 43.999.678 m³ sendo 40.843.004 m³ com tratamento diversificado. Na região norte, essa demanda de água distribuída representa apenas 2.468.238 m³/dia (5,61%) e 1.668.382 m³/dia (4,08%) com tratamento.

Para o estado do Amazonas, essa demanda chega a 896.185 m³/dia onde 67,76% desse volume recebe tratamento não convencional e 2,76% tratamento por simples cloração (IBGE, 2002).

Em muitas cidades do estado do Amazonas, a distribuição de água feita pelos órgãos competentes não recebe nenhum tratamento (Figura 01), sendo captada por poços tubulares ou das águas fluviais e diretamente distribuída para a população por rede de distribuição. Como exemplos, temos as cidades de Tefé, Alvarães, Uarini, Barreirinha e até mesmo em Manaus, capital do Estado (Figura 02).



Figura 01. Complexo para tratamento de água desativado na cidade de Tefé - AM - 2002.



Figura 02. Distribuição de água não tratada no bairro de Novo Israel na cidade de Manaus - AM - 2002.

A disponibilidade média mundial é de 7.700 m³/hab./ano, porém há regiões do planeta em que parte da população conta com menos de 1.000 m³/hab./ano, valor considerado crítico para a vida (Leal, 1998). Na África, 300 milhões (um terço da população do continente) já vivem em condições de escassez, e este número deverá aumentar para mais de 1 bilhão em 2025. Nove das 14 nações do Oriente Médio já enfrentam condições de escassez, estima-se que a população de seis dessas nações venham a dobrar em 25 anos. A Índia pode vir a integrar a lista dos países que viverão em estado de escassez em 2025, quase que exclusivamente em função do aumento populacional. A China, com 22% da população mundial e somente 6% de sua água doce, já se encontra em sérios problemas: um terço dos poços do noroeste já secou, e mais de 300 cidades já sofreram de falta de água (Villiers, 2002).

Mais de 90% dos africanos ainda cavam a terra em busca de água, e as doenças veiculadas pela água, como o tifo, a disenteria, a esquistossomose e a cólera são comuns. Em

algumas áreas, os poços estão tão abaixo da superfície da terra que é necessário que as pessoas formem correntes humanas para passar a água (Villiers, 2002).

Somente um terço da água que flui anualmente para o mar é acessível ao homem. Desta quantidade, mais da metade já tem destino e está sendo usada. A disponibilidade *per capita* de água potável de boa qualidade está diminuindo em todos os países desenvolvidos e em desenvolvimento (*Op. cit.*, 2002).

No Brasil, para abastecimento doméstico, usualmente considera-se um consumo médio de 150 L/hab/dia. O grande problema nesse setor são os desperdícios operacionais nas redes de abastecimento, com fugas de água, devido a rupturas ou mesmo ligações clandestinas. Em muitos casos, o desperdício chega a 40% (Leal, 1998).

Mundialmente, a poluição da água tem sido um dos problemas mais relevantes. Além da poluição visível e desagradável, vêm crescendo em importância novos tipos de poluição envolvendo pequenas quantidades de substâncias químicas sintéticas não-degradáveis que são invisíveis, persistentes e tóxicas, cujos tratamentos são difíceis e caros. Apesar de recentemente ter havido melhorias significativas nos níveis de poluição da água nos países desenvolvidos, a qualidade da água ainda preocupa (Leal, 1998; Hirata, 2000).

Pior ainda, mais de 1 bilhão de pessoas não têm acesso à água potável e mais de 2,9 bilhões não têm acesso a serviços de saneamento. A realidade é que a cada oito segundos morre uma criança por causa da contaminação da água potável, e o saneamento tende a ficar cada vez pior, principalmente devido à tendência mundial de deslocamento do homem do campo para as favelas dos centros urbanos. O rápido crescimento demográfico e a urbanização são fenômenos geminados, ambos acontecendo em países em desenvolvimento (Figura 03) (Petrella, 2002; Villiers, 2002).



Figura 03. Palafitas sobre igarapé na avenida sete de setembro - Manaus - AM - 2000.

Já no Brasil, há acentuadas diferenças regionais, com áreas densamente urbanizadas, industrializadas, e outras agrárias ou extrativistas, concomitante com uma grande variabilidade espacial na disponibilidade hídrica. Isso se reflete na grande variabilidade e especificidade nos problemas relacionados com a utilização da água. Enquanto na região Sudeste e em centros urbanos e industriais, os problemas principais se referem à poluição hídrica, na região Centro-Oeste se referem às práticas agropecuárias desordenadas e à mineração; na região Nordeste à escassez de água e no Norte ao desmatamento e ao avanço das frentes agropecuárias. Em todas as regiões, mesmo nas capitais da região Norte, os efeitos da urbanização já são sentidos em graus diferentes. Esses problemas diferenciados orientam o principal enfoque da gestão em cada região (Leal, 1998).

Há uma grande interação e interdependência dos recursos hídricos com os demais componentes do meio ambiente, principalmente no que se relaciona à ocupação do solo: o uso urbano, com lançamentos de esgotos, deposição de lixo, captações para abastecimento, impermeabilização do solo; o uso industrial, com lançamentos de poluentes e captações; o uso

rural, com irrigação, carreamento de fertilizantes, agrotóxicos e matéria orgânica e contaminação do aquífero; os desflorestamentos, causando carreamento de sedimentos, erosão de encostas e assoreamento de cursos de água; os aproveitamentos minerais, com despejos de refugos e metais pesados e modificação do leito dos rios. Além disso, as condições da água vão determinar a espécie de vida nela contida: desde uma variada gama de peixes em águas de boa qualidade até plantas aquáticas e microorganismos em águas mais deterioradas. Tendo em vista todas essas relações, as condições da água podem ser vistas como bons indicadores da situação de toda bacia, sendo uma espécie de sintetizador dos demais componentes do meio ambiente (Leal, 1998).

Os problemas de quantidade e qualidade dos recursos hídricos obviamente não são fatos isolados; estão inseridos nas questões globais do meio ambiente. A conscientização desses problemas vem juntamente com uma preocupação com a qualidade de vida das populações de uma maneira mais abrangente. As políticas de gestão da água têm de ser articuladas ou integradas com as políticas ambientais que cuidam dos demais recursos e do meio ambiente como um todo (Leal, 1998).

3.1.1 Ciclo hidrológico

A quantidade total de água existente no planeta não mudou desde sua origem. A água existe em um sistema fechado, chamado de hidrosfera. O ciclo hidrológico é o processo de transferência da água de um estado, ou reservatório, para outro através da gravidade ou da aplicação de energia. Uma das principais fontes de vapor de água para o ciclo hidrológico são os oceanos. Contêm cerca de 97% do total da água existente na Terra e cobrem cerca de três quartos da superfície terrestre. Desse total, menos de 3% são de água doce e destes 0,67% são de águas subterrâneas. Apesar da participação muito significativa das águas subterrâneas, cerca de 70% dessa parcela são reservas muito profundas, de exploração difícil e antieconômica (CETESB, 1978; Morais, 1995; Leal, 1998).

Leonardo da Vinci foi um dos primeiros a observar ou tentar entender o ciclo hidrológico. Ele afirmou que as águas de todos os mares e de todos os rios passavam pela foz do Nilo diversas vezes num movimento dos rios para os mares e vice-versa (Morais, 1995).

Os antigos cientistas e filósofos formulavam muitas hipóteses para a explicação das fontes de superfície, por serem facilmente vistas e observadas. No entanto, a falta de

conhecimento sobre as águas subterrâneas pode ser atribuída ao fato de não terem idéia de onde proviam e para onde se dirigiam. Até o século XVI, não se tinha idéia firmada de que as águas dos rios e de algumas fontes eram derivadas da chuva, pois esta seria insuficiente para acumular tal volume.

Os fenômenos do ciclo hidrológico, em suas fases, estão intimamente relacionadas com os componentes do meio ambiente, como cobertura vegetal, declividade e características geológicas (Figura 04). Qualquer modificação num desses componentes da bacia irá, conseqüentemente, influir no ciclo hidrológico e vice-versa. As bacias subterrâneas não têm exatamente o mesmo contorno que as superficiais, mas em geral, ao se falar em bacias hidrográficas, se está referindo à bacia superficial, por ser de mais fácil determinação e visualização, além das águas superficiais serem mais utilizadas (Leal, 1998).

A energia solar aquece, de forma desigual, a superfície da Terra no equador e nas regiões polares, originando a vaporização da água e o movimento das massas de ar e de ventos. Anualmente, cerca de 110 mil km³ de água são precipitados sobre os continentes, dos quais cerca de 70 mil km³ evaporam retornando à atmosfera e 40 mil km³ se repartem entre o escoamento superficial e subterrâneo, numa proporção de cerca de 70% e 30%, respectivamente. Dessa forma, esses 40 mil km³ constituem, em média, o limite máximo renovável num ano (Suguió & Bigarella, 1990; Leal, 1998).

O volume de água que cai na Bacia Amazônica, na forma de chuvas, é de 12 milhões de km³.ano⁻¹, enquanto o que escoia através dos rios ao mar é de 5,5 milhões de km³.ano⁻¹. Os outros 6,5 milhões de km³ são evaporados, retornando à atmosfera (Branco, 1989).

Em experimento conduzido junto à Reserva Florestal Duche, situada a cerca de 26 km da cidade de Manaus, quantificou-se parcela da água de chuva interceptada pela cobertura vegetal de 19,80%, em média (Franken et al., 1992).

O movimento da água, relativamente lento, ao se infiltrar no solo, propicia contato com os minerais que formam o substrato rochoso, os quais, nela vão se dissolvendo em maior ou menor proporção. A água subterrânea aumenta o teor em substâncias dissolvidas na medida em que prossegue no seu movimento até atingir um equilíbrio.

A zona não-saturada, com sua grande capacidade de adsorção, degradação por microrganismos, evaporação e camadas adjacentes de diferentes composições mineralógicas, age, preliminarmente, como filtro natural e, sob condições normais, este sistema de filtração, apesar de não possuir o mesmo comportamento de atenuação de contaminantes, recupera a

qualidade da água impedindo a passagem de muitos microrganismos nocivos à saúde e partículas que contenham compostos tóxicos. Da mesma forma, o grau de atenuação variará, segundo o tipo de contaminante. No entanto, a água pode se contaminar, se os meios permeáveis à água, pela troca de materiais com o solo e a rocha, já estiverem altamente contaminados ou contiverem elementos naturais tóxicos (Branco, 1986; Foster & Hirata, 1993; Morais, 1995).

Os minerais dissolvidos (lixiviados) na água subterrânea afetam seus usos específicos. Se uma ou mais das substâncias dissolvidas estiverem presentes em quantidade acima dos padrões recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para a qualidade de água para consumo humano ou para outros fins, a água deve ser submetida a um tratamento que as eliminem ou as removam (CETESB, 1978; Foster & Hirata, 1993).

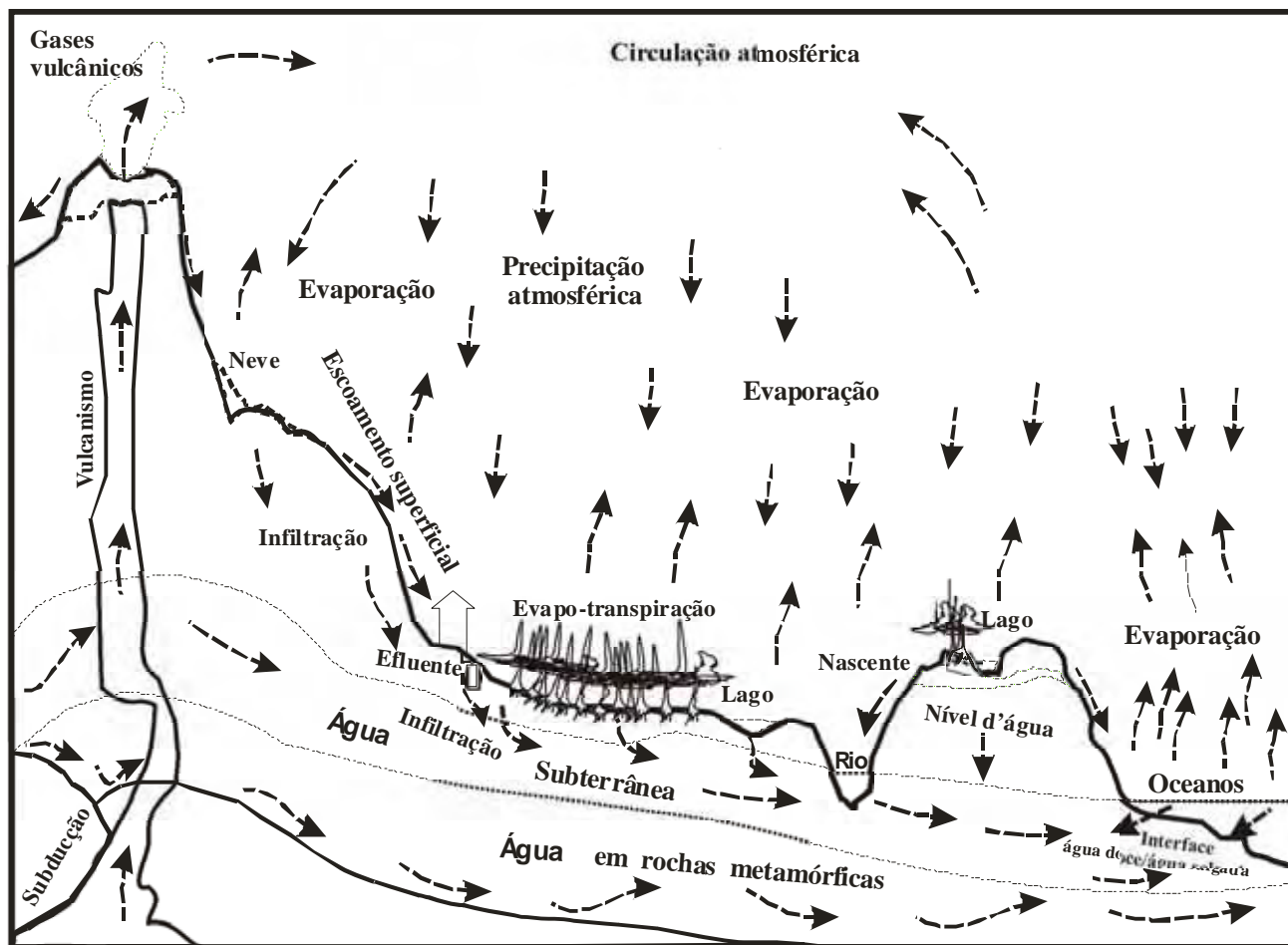


Figura 04. Esquema simplificado do ciclo hidrológico (Karmann, 2000; Manoel Filho, 2000).

A água existente nos organismos vivos é de volume insignificante em relação ao sistema hidrológico, mas de importância significativa pelo curto tempo de residência, uma vez que, se considerarmos um determinado período de tempo, as plantas podem liberar mais água para a atmosfera do que a descarga combinada de todos os rios do mundo (Morais, 1995).

A água evaporada das massas superficiais (mares, lagos e rios) do solo e da cobertura vegetal eleva-se na atmosfera, umidificando o ar. Quando as gotículas de água, formadas por condensação, atingem determinada dimensão, precipitam em forma de chuva (águas meteóricas). Caso na sua descendência atravessem zonas de temperaturas abaixo de zero, pode haver formação de granizo; se ocorrer sob temperaturas abaixo do ponto de congelamento, haverá a formação de neve. Se a condensação for sobre superfícies sólidas, em temperaturas superiores ou inferiores a zero grau centígrado, gerará o orvalho e a geada, respectivamente (Pinto, 1973; Suguio & Bigarella, 1990).

Durante sua descida, parte da precipitação não atinge o solo, devido à evaporação ou à cobertura vegetal (interceptação). Da proporção que atinge o solo, parte nele se infiltra, parte escoia sobre a superfície e parte se evapora, diretamente ou através das plantas, pela transpiração. A evaporação superficial e a transpiração pelos vegetais são consideradas, em conjunto, sob a denominação de evapotranspiração (Pinto, 1973; Custodio & Llamas, 1976; Suguio & Bigarella, 1990; Jorge & Uehara, 1998).

Este sistema, através dos processos de precipitação e evaporação, age como um destilador que daria a conotação de pureza à água. No entanto, a atmosfera pode estar de alguma forma poluída e, conseqüentemente, as águas nela contidas, principalmente as águas da chuva cuja composição depende fundamentalmente da atmosfera (Morais, 1995).

O tempo que a água permanece em qualquer lugar é chamado de “tempo de residência” e o tempo necessário para uma partícula de água passar por uma ou mais fases do ciclo hidrológico varia de poucas horas a séculos (Villiers, 2002).

3.1.1.1 Água subterrânea

O Velho Testamento contém numerosas referências às águas subterrâneas, nascentes e poços. No início da era cristã, o arquiteto romano Marcus Vitruvio Pollio, no século I, escreveu sobre o regime da chuva e de escoamento, sugerindo a teoria da infiltração como o fundamento do acúmulo de água subterrânea. Ele afirmava que em terrenos argilosos

a quantidade água subterrânea, captável através de escavações, são mínimas e a qualidade é geralmente imprópria. Ao contrário, nos terrenos arenosos, as quantidades são geralmente abundantes e o gosto é saudável (CETESB, 1978; Todd, 1980; Rebouças, 1981).

Durante o século XVIII, foram estabelecidos os fundamentos da geologia que forneceram base para a compreensão da ocorrência e do movimento das águas subterrâneas e, na primeira metade do século XIX, muitos poços artesianos foram perfurados na França (Todd, 1980).

No século passado, Henry Darcy definiu a relação conhecida como Lei Darcy, que governa o fluxo das águas subterrâneas na maioria das formações aluvionares e sedimentares. Posteriormente, contribuições européias deram ênfase à hidráulica do aproveitamento das águas subterrâneas. Estas foram algumas das primeiras observações que levaram ao entendimento a respeito das águas subterrâneas (Todd, 1980).

O escoamento superficial começa algum tempo após o início da precipitação. Sua contribuição cresce com o tempo, até atingir um valor sensivelmente constante à medida que a precipitação prossegue. Cessada a precipitação, o escoamento superficial vai diminuindo até anular-se. A ação da interceptação e da acumulação tende a reduzir no tempo e a da infiltração, a tornar-se constante (Pinto, 1973).

A infiltração é um processo lento em que a água penetra no solo, através dos espaços intergranulares, até atingir uma zona totalmente saturada formando o aquífero subterrâneo. Ocorre até o ponto em que o suprimento de água excede a capacidade do solo em absorvê-la. Praticamente, toda a água subterrânea tem essa origem. É condicionada pelo tamanho dos grãos, tipo e grau de intercomunicação entre os vazios intergranulares (porosidade efetiva), presença ou não de obstáculos em superfície, condições de umidade e diferenças de nível e pressão que ocasionam o deslocamento da água subterrânea, dos níveis de energia hidráulica mais altos para os mais baixos. Escoando sobre a superfície, vai preenchendo as depressões, canais naturais e dirigindo-se aos mares, lagoas e oceanos. Nesse processo ainda pode ocorrer infiltração ou evaporação (Pinto, 1973; Suguio & Bigarella, 1990; Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

Outras contribuições, conhecidas como reabastecimento artificial, podem ocorrer do excesso de irrigação, percolação proveniente de canais, e águas propositadamente fornecidas a fim de aumentar o abastecimento das águas subterrâneas (Todd, 1980).

A capacidade de armazenamento de reservatórios de águas subterrâneas e pouca velocidade de fluxo proporcionam grandes fontes de abastecimento de águas extensamente distribuídas (Todd, 1980).

A água que infiltra no solo chama-se subsuperficial e ocorre nas camadas superiores. Porém, nem toda essa água se torna subterrânea, podendo voltar à superfície por capilaridade, sob a ação da gravidade (em locais de cotas inferiores ao nível hidrostático do aquífero) ou, ainda, pela ação do homem, e evaporar-se na atmosfera, ou pode ser absorvida pelas plantas e retornar à atmosfera pela transpiração vegetal (Pinto, 1973; CETESB, 1978; Todd, 1980; Suguio & Bigarella, 1990).

A camada superior da zona detrítica, onde os poros estão parcialmente ocupados por água e ar, é designada “zona de aeração”. Situa-se entre a superfície do terreno e o nível freático. A espessura varia de menos de 1 metro, em áreas alagadiças, até mais de 100 metros em regiões desérticas, onde a água é denominada suspensa ou vadosa (Figura 05) (Custodio & Llamas, 1976; Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

Na zona de aeração, a água higroscópica é a que está aderida ao grão sólido, como uma camada muito fina, e que não se movimenta sob temperaturas inferiores a 100°C. Já a água pelicular é a que forma uma película que envolve as partículas e só se desprende do grão por centrifugação, porém, pode migrar de um grão para outro. Do ponto de vista hidrogeológico e agrônômico, ambas têm pouco interesse, pois, não se movimentam pela gravidade nem por bombeamento e tampouco podem ser extraídas pela força de sucção das raízes das plantas. Entretanto, a água capilar existe como uma película contínua em volta das partículas do solo. Presa pela tensão superficial, pode ocorrer movimentos no sentido contrário ao da ação da gravidade, fenômeno conhecido como ascensão capilar ou sucção, estando à disposição das plantas (Custodio & Llamas, 1976; Todd, 1980; Maciel Filho, 1997).

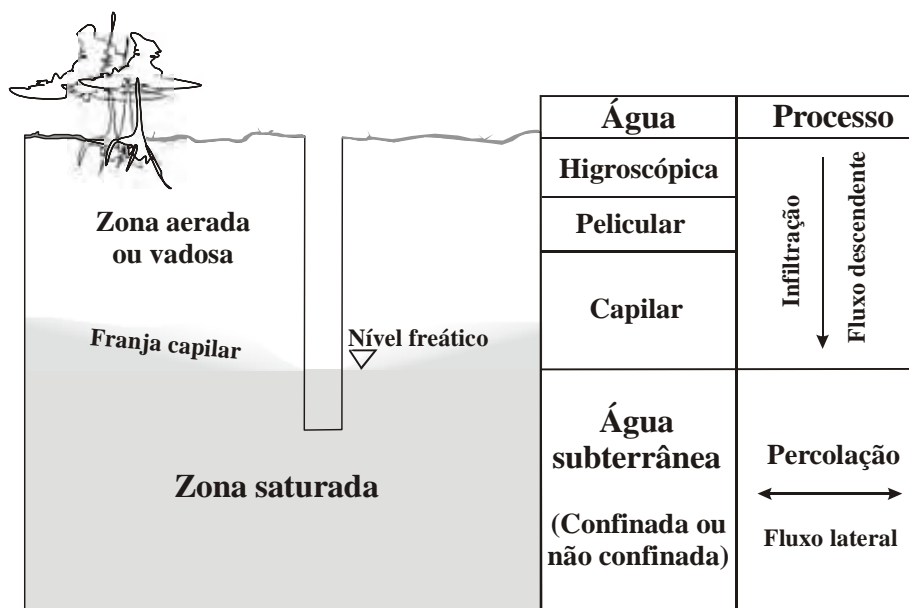


Figura 05. Zonas da água em subsuperfície (Adaptado de Maciel Filho, 1997; Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

Imediatamente abaixo da zona vadosa, onde os interstícios estão preenchidos com água sob pressão hidrostática, está a “zona de saturação” (Figura 05). A água que ocorre nessa zona é comumente, denominada de água subterrânea (Custodio & Llamas, 1976; Todd, 1980).

A zona de saturação pode ser considerada como sendo um único reservatório ou, um sistema de reservatórios naturais, cuja capacidade e volume total dos poros ou interstícios estão repletos de água. Nela, o movimento da água, conhecido por percolação, vai da zona de recarga para a zona de descarga, sendo governado pelas condições hidráulicas circunvizinhas (Custodio & Llamas, 1976; Morais, 1995; Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

A franja de capilaridade é a faixa acima do nível freático em que os poros do solo estão preenchidos até uma altura variável segundo o tamanho desses vazios. É oriunda da zona de saturação devido a atração capilar (Figura 05) (Maciel Filho, 1997).

As formações ou camadas da zona saturada nas quais se podem obter água para uso proveitoso e em proporção suficiente, são chamadas formações, reservatórios de água subterrânea e aquíferos, palavra de origem latina que significa suporte de água. Qualquer tipo de rocha (ígneas, sedimentares, vulcânicas ou metamórficas) pode constituir um aquífero. Embora o volume das rochas sedimentares corresponda a apenas 5% da crosta terrestre, essas rochas comportam cerca de 95% da água subterrânea (Custodio & Llamas, 1976; CETESB, 1978; Todd, 1980).

Os critérios de classificação de aquíferos baseiam-se na maneira como circula por eles a água subterrânea, e de acordo com a pressão hidrostática da água contida.

A superfície livre do aquífero não é estacionária; move-se, periodicamente, para cima e para baixo e eleva-se quando a zona de saturação recebe mais água de infiltração vertical; desce nos períodos de estiagem, quando a água armazenada periodicamente flui para as nascentes, cursos, poços e outras partes de descarga da água subterrânea (CETESB, 1978).

Os aquíferos livres são os que possuem uma superfície livre da água contida, que está em contato direto com o ar e, portanto, com a pressão atmosférica.

A zona de saturação pode ser constituída de camadas permeáveis e impermeáveis de materiais terrosos. Quando um aquífero se encontra entre duas camadas impermeáveis diz-se estar confinado. Por ser impermeável a camada superior confinante, a água não se encontra sob pressão atmosférica; nos interstícios do aquífero a pressão é superior à atmosférica. Em tal situação a água se encontra em condições chamadas artesianas. O aquífero é, então, designado aquífero artesiano, aquífero confinado, água subterrânea confinada ou sob pressão. O aquífero semiconfinado é o que existe quando a camada que o deveria confinar tem as características de um aquífero e possui sua superfície piezométrica superior em cota à superfície do aquífero. Um aquífero é um material ou rocha porosa que, embora armazene quantidade significativa de água no seu interior, permite a circulação apenas de forma muito lenta. São incluídos neste grupo as argilas siltosas ou arenosas (Figura 06) (CETESB, 1978; Maciel Filho, 1997; Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

Um aquíclode é um material impermeável que pode ou não conter água, mas que é incapaz de transportar quantidades significativas da mesma. São rochas ou materiais essencialmente argilosos, nos quais a água está firmemente fixada em poros de diminutas dimensões. Entretanto, um aquífugo é um material impermeável, com baixíssimo grau de porosidade, que não contém nem transporta água. Incluem-se neste grupo todas as rochas duras, cristalinas, metamórficas e vulcânicas, sem fraturamento ou alteração (Figura 06) (Todd, 1980; Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

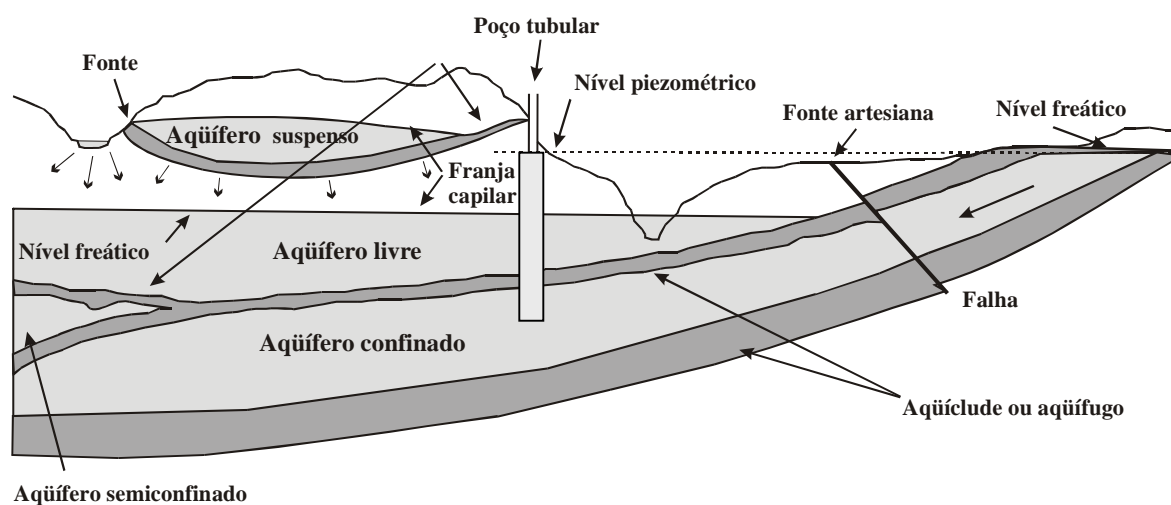


Figura 06. Tipos de aquíferos (Modificado de Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

Um aquífero suspenso é um aquífero não confinado, separado da água subterrânea principal por um estrato relativamente impermeável, e por uma zona de aeração, acima do corpo principal de água subterrânea. Ocorre normalmente em pequena extensão de área, geralmente em encosta de serra (Figura 06) (Todd, 1980; Maciel Filho, 1997; Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

Na ausência de estratos impermeáveis subjacentes, a superfície superior da zona de saturação é o nível de água, superfície freática ou superfície de pressão atmosférica, expressa em termos de nível potenciométrico (Figura 06) (Todd, 1980; Maciel Filho, 1997; Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

Na cidade do México, por exemplo, o bombeamento insustentável da água subterrânea local tem causado um afundamento de quase 20 metros em partes da cidade. Agora estão trazendo água de uma distância de 300 quilômetros (Villiers, 2002).

Em diversas cidades do estado do Amazonas, é possível presenciar uma construção aleatória e desgovernada de poços e cacimbas extraíndo água do aquífero com nível estático a alguns metros da superfície do terreno.

Em Manaus, esta extração de água é feita por milhares de poços com profundidades que chegam no máximo a 20 metros e distribuídos, geralmente, na zona Leste da cidade ou periferias. Esse grande volume de água bombeado da zona capilar associado à má construção das casas e prédios em terrenos aterrados, vem acarretar o afundamento do

substrato areno-argiloso, originando fraturas em diversas casas onde existem esses poços (Figura 07).

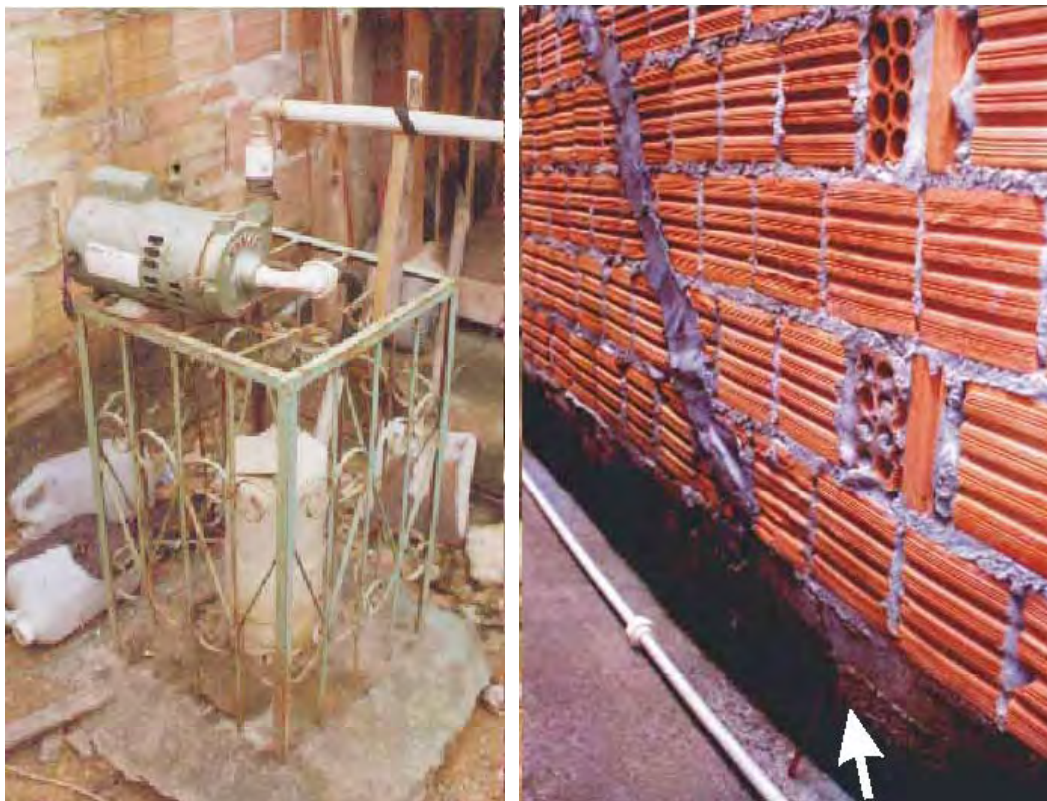


Figura 07. Poço com 15 metros de profundidade e fratura em parede causada pelo afundamento do substrato areno-argiloso em residência na zona Leste de Manaus - AM - 2003.

3.2 Urânio

O urânio foi descoberto em 1789 pelo químico analítico M. H. Klaproth quando estudava o mineral de pechblenda. O elemento descoberto recebeu, o nome de *uranit* em homenagem ao planeta *Uranus*, recém descoberto em 1781, e em seguida passou a ser chamado de *uranium*. Em 1896 o químico francês Antonie H. Becquerel descobriu a radioatividade e na primeira metade do século XX, o comportamento dos radioisótopos foi estudado, sistematicamente, com o desenvolvimento da física atômica.

Quando se considera a distribuição global de urânio nas diferentes camadas da Terra, nota-se que, de acordo com o modelo meteorítico diferenciado, ele está enriquecido

cerca de 230 vezes na crosta terrestre e 3 vezes no manto superior e está empobrecido 3 vezes no manto inferior e 25 vezes no núcleo central (com relação ao material primordial), demonstrando que o urânio é um elemento litófilo que migra do núcleo para a crosta. Na crosta terrestre, a distribuição do urânio está relacionada com as atividades magmáticas que causaram sua mobilização desde a formação da Terra. De acordo com a predominância dos fatores atuantes, ele se encontra retido nos principais minerais formadores de rochas, incorporado nos minerais acessórios ou concentrado, formando seus próprios minerais (Bonotto, 1986).

Em arenitos, o urânio se encontra em dois tipos de depósitos, o “*roll*,” formado na interface do arenito oxidado - não oxidado, e o peneconcordante, com corpos tabulares de arenito mineralizado, posicionados quase paralelamente ao arenito circundante (Gabelman, 1977).

A prospecção sistemática de minerais de urânio no Brasil teve início em 1952, a cargo do Conselho Nacional de Pesquisas - CNPq, revelando os primeiros indícios uraníferos em Poços de Caldas (MG), Jacobina (BA) e Araxá (MG). Hoje, o país possui a quinta reserva de urânio do mundo, com 301.409 t de U_3O_8 , distribuídos em oito jazidas (Javaroni & Maciel, 1985).

Localizado no grupo 3B, na série dos actinídios da tabela periódica, o urânio tem número atômico 92, peso atômico 238,0289, configuração eletrônica 5f e estado de oxidação variando de +2 a +6. Os números de oxidação +4 a +6 ocorrem, naturalmente, na crosta terrestre e, como agente redutor, pode liberar hidrogênio da água nas duas valências menores (Krauskopf, 1972; Firestone, 1996).

A transição do estado de oxidação 4+ para 6+ é consequência da exposição do urânio às condições intempéricas, constituindo o íon uranila (UO_2^{2+}) (Osmond & Cowart, 1976). A reação tem potencial de óxi-redução (E°) de 0,33 volts e ocorre na natureza de acordo com a equação:



Presente em minerais ígneos primários, o íon uranoso (U^{4+}) tem raio iônico 1,05 Å, próximo ao do cálcio e terras raras trivalentes (Goldschmidt, 1954). Nesse estado, o íon é considerado primário, sendo o dióxido (UO_2) ou silicato ($USiO_4.nH_2O$) os principais compostos em depósitos sedimentares ocorrendo na variedade de uraninita ou pechblenda.

Mas, oxidação incipiente e perda de urânio por decomposição radioativa podem aumentar a relação oxigênio/urânio e com isso, a composição pode aproximar-se de U_3O_8 (Krauskopf, 1972).

O urânio que ocorre na natureza compreende três isótopos: o ^{238}U , ^{235}U e ^{234}U . Quando em equilíbrio radioativo, a abundância relativa numa mistura corresponde, respectivamente, a 99,28%, 0,72% e 0,0054% (Bonotto, 1982).

O urânio é um elemento instável, sendo que seus dois isótopos naturais ^{238}U e ^{235}U dão origem às séries de decaimento radioativo $4n+2$ e $4n+3$, respectivamente. A “série do urânio” é iniciada pelo ^{238}U e a “série do actínio” pelo ^{235}U . A série do urânio torna-se estável após 14 transformações, sendo 8 do tipo alfa (α) e 6 do tipo beta (β^-), quando é atingido o seu último membro ^{206}Pb . A série do actínio torna-se estável após 11 transformações, sendo 7 do tipo alfa (α) e 4 do tipo beta (β^-), quando é atingido o seu produto final, ^{207}Pb . O isótopo ^{234}U é radiogênico, tem abundância média na crosta de 2 a 3×10^{-8} %, sendo gerado na série do urânio ^{238}U após o decaimento de dois nuclídeos, o ^{234}Th , com meia-vida de 24,1 dias e o ^{234}Pa , com meia-vida de 1,18 minutos (Figura 08).

A ocorrência de urânio é mais acentuada em rochas graníticas, pegmatitos graníticos e em sienitos, principalmente em minerais acessórios, onde a uraninita (UO_2 a U_3O_8), o mineral de urânio mais abundante na crosta terrestre, se distribui irregularmente, tendo como paragêneses os minerais de tório, terras raras, nióbio, tântalo, turmalina e zircão (Betejtin, 1970).

Nos sedimentos arenosos, os níveis de urânio são geralmente menores que $1 \mu g/g$, devido à facilidade com que é lixiviado. Entretanto, quando tais sedimentos são derivados de rochas ígneas enriquecidas de U e Th, concentrações anormais desses elementos podem ser encontradas (Bonotto, 1996).

A grande tendência do urânio em se oxidar para íons de U^{6+} , que é bastante solúvel, permite-lhe maior mobilidade nas camadas superficiais ou subterrâneas oxidantes até ambientes redutores, onde se precipita na forma de pechblenda ou cofinita ($USiO_4 \cdot nH_2O$) (Krauskopf, 1972; Osmond & Cowart, 1976).

Os fatores que afetam a distribuição do urânio nas águas naturais são: o teor de urânio na rocha matriz, sedimentos ou solos e sua lixivialidade; o grau de isolamento hidráulico da água em relação à diluição pelas águas superficiais; efeitos climáticos, a variabilidade sazonal e a influência da evapotranspiração; o pH e o estado de oxidação da água; as concentrações de carbonato, fosfato, vanadato, fluoreto, sulfato, silicato, cálcio,

potássio e outras espécies que podem formar complexos uraníferos ou minerais insolúveis de urânio; a presença de materiais adsorventes de urânio como matéria orgânica, argilas, óxi-hidróxidos de ferro, manganês e titânio (Langmuir, 1978).

Com relação à adsorção do urânio, durante o intemperismo das rochas, a água, contendo substâncias húmicas, atua como poderoso agente na mobilização de íons metálicos, adsorvendo-os, especialmente os da série de transição, portadores de potenciais iônicos intermediários e orbitais-d parcialmente preenchidos (Bonotto, 1986).

A acumulação desse elemento ocorre após a decomposição das plantas, quando a lignita se transforma, parcialmente, em ácido húmico insolúvel durante o processo de humificação (Bonotto, 1986).

As concentrações de urânio solúvel geralmente variam de 0,1 a 10 ppb em rios, lagos e águas subterrâneas (Osmond & Cowart, 1976). Os teores de urânio nas águas subterrâneas variam bastante, dependendo da litologia e/ou proximidade das jazidas desse elemento, considerando-se muitas vezes como anômalos os valores acima de 4 µg/L (Bowie & Plant, 1983).

O fracionamento do ^{234}U com relação ao ^{238}U é muito comum na natureza, e vários mecanismos interpretativos do fracionamento têm sido apontados por diversos pesquisadores, depois que Cherdyntsev et al. (1955), observaram tal fenômeno em minerais secundários. Entre esses mecanismos, estão:

- * Destruição das redes cristalinas vizinhas ao nuclídeo, no momento do primeiro decaimento alfa, deixando o ^{234}U mais acessível à lixiviação (Bonotto, 1982);

- * Comportamento químico diferente dos filhos intermediários (^{234}Th e ^{234}Pa , Figura 08), que são menos móveis e possuem meias-vidas curtas (Gomes, 1978);

- * Auto-oxidação ou oxidação diferencial do ^{234}U . A forma oxidada é mais móvel que a reduzida. O ^{234}U é mais vulnerável à oxidação que o ^{238}U e os nuclídeos intermediários, ^{234}Th e ^{234}Pa , necessitam de menos elétrons em seus orbitais de valência que o urânio, sendo que o decaimento beta do ^{234}Th para ^{234}U produz, automaticamente, um estado de oxidação (Gomes, 1978);

Estes três processos causam passivos fracionamentos, pois, dependem fundamentalmente da lixiviação para produzir um excesso de ^{234}U (Gomes, 1978);

- * O quarto processo é mais dinâmico e não depende da lixiviação para enriquecer em ^{234}U as soluções em percolação. O recuo do ^{234}Th , resultando em sua expulsão

através da interface sólido-líquido, poderia enriquecer em ^{234}U as soluções vizinhas aos grãos de minerais com urânio, por decaimentos posteriores do ^{234}Th (Thurber apud Gomes, 1978).

U - 238							
U	U - 238 4,49x10 ⁹ a		U - 234 2,48x10 ⁵ a				
Pa	↓	↗ Pa - 234 1,8 min	↓		LEGENDA ↓ alfa (α) ↗ beta (β) a = anos d = dias min = minutos s = segundos		
Th	↗ Th - 234 24,1 d		Th - 230 7,5x10 ⁴ a				
Ac			↓				
Ra			Ra - 226 1,622 a				
Fr			↓				
Rn			Rn - 222 3,83 d				
At			↓				
Po			Po - 218 3,05 min		Po - 214 1,6x10 ⁻⁴ s		Po - 210 138 d
Bi			↓	↗ Bi - 214 19,7 min	↓	↗ Bi - 210 50 d	↓
Pb			↗ Pb - 214 26,8 min		↗ Pb - 210 22,2 a		Pb - 206
Tl							

Figura 08. Cadeia natural de decaimento radioativo do Urânio (4n+2) (Adaptado de Ku, 1976).

4. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Amazônia

A Bacia Amazônica possui uma área estimada de 6,3 milhões de km², sendo que aproximadamente 5 milhões de km² em território brasileiro e o restante dividido entre outros países da América do Sul. Essa região é limitada à Oeste pela Cordilheira dos Andes (com elevações de até 6000 m), ao Norte pelo Planalto das Guianas (com picos montanhosos de até 3000 m), ao Sul pelo Planalto Central (altitudes típicas de 1200 m) e à Leste pelo Oceano Atlântico, por onde toda a água captada na bacia escoar. Segundo o IBGE, a área da Amazônia Legal no Brasil é de 5.032.925 km², compreendidos pelos estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá e parte dos estados do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão.

Em termos de extensão territorial, oito nações compartilham a região Amazônica e 60% do território brasileiro estão nessa área. Na região Norte, vivem apenas 7,6% da população do país (IBGE, 2000).

De acordo com Petri & Fúlfaro (1988), mais de quatro milhões de km² da região são constituídos, em sua quase totalidade, pela Bacia Sedimentar do Amazonas, com sedimentares do Terciário e Quaternário e com aproximadamente 200 km de largura, de ambos os lados do rio Amazonas. A partir do seu curso médio, a Bacia Sedimentar se alarga para as cabeceiras e distribui-se do Acre ao Pará pelas encostas de dois planaltos de rochas cristalinas (Arqueanos em sua maior extensão): o Planalto Brasileiro e o Planalto Guiano, com uma planície levemente ondulada. Somente o Sudeste da região, no sul do Pará, em Goiás e no Maranhão, bem como o seu extremo norte, em Roraima, apresenta relevo mais acidentado.

4.1.1 Aspectos climáticos e hidrográficos

O conhecimento da influência dos fatores físicos e geográficos que atuam sobre o clima da Região Norte do Brasil, por mais completo que seja, não basta para a compreensão de seu clima. O clima atual da região Amazônica é uma combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a disponibilidade de energia solar.

Na Região Norte, é possível distinguir vários sistemas de circulação atmosférica sendo três deles, determinantes de instabilidade e chuvas. O sistema de W representado por

linhas de Instabilidade Tropical (IT) – tempo instável; Sistema de N da Convergência Inter Tropical (CIT) – tempo instável e Sistema de S da Frontal Polar (FP) – tempo instável. Existe sobreposição dos sistemas sobre o setor ocidental da região, para onde costumam convergir (cada um a seu tempo) os sistemas de chuvas de N,W e S (Figura 09) (Nimer, 1989; 1989a).

Fisiograficamente caracterizada por uma vasta planura situada próximo ao nível do mar, e cortada de um extremo a outro pelo paralelo do equador, a Região Norte possui clima quente praticamente em toda a sua extensão geográfica. Apenas as áreas a sudoeste, compreendendo o estado do Acre (pela maior participação de ar do sistema de circulação S) e as áreas de altitudes mais elevadas da Chapada do Parecis e da fronteira setentrional possuem temperatura média anual entre 22°C e 24°C, ultrapassando os 26°C ao longo do médio e baixo Amazonas (Figura 09). Isso significa que a sensação de calor é quase uma constante ao longo de todo o ano, destacando-se neste particular o período de setembro a dezembro, quando são mais frequentes as máximas diárias superiores a 35°C, mas raramente atingem os 40°C (Nimer, 1989).

No inverno, não obstante as médias térmicas manterem-se relativamente altas (superiores a 22°C), costumam registrar-se, durante a noite, valores em torno de 12°C em suas áreas meridionais (do Acre ao Pará) por ocasião de invasões de frentes frias, de trajetória continental, após transporem a Cordilheira dos Andes. Algumas dessas frentes chegam a essas áreas com muita energia, provocando o fenômeno conhecido regionalmente por “friagem”, caracterizado por forte umidade e chuvas “frontais”, sucedidas por “tempo bom” e extraordinária queda de temperatura que, na Chapada do Parecis, já desceu próximo a 0°C (Nimer, 1989).

Medidas realizadas na Amazônia Central (Manaus-AM) indicam que os maiores totais de radiação que chegam na superfície ocorrem nos meses de Setembro/Outubro, sendo que os mínimos são nos meses de Dezembro a Fevereiro (Horel et al., 1989).

Devida aos altos valores de energia que incide na superfície, o comportamento da temperatura do ar mostra uma pequena variação ao longo do ano, com exceção da parte mais ao sul (Rondônia e Mato Grosso), que inclusive sofrem a ação de sistemas frontais (denominados localmente por Friagens). A amplitude térmica sazonal é da ordem de 1°C a 2°C, sendo que os valores médios situam-se entre 24 e 26°C. Manaus (AM) possui seu extremo de temperatura nos meses de Setembro (27,9°C) e Abril (25,8°C) (Salati & Marques, 1984).

A Amazônia tem o domínio climático mais chuvoso do continente americano. A região possui uma precipitação média de aproximadamente 2300 mm.ano⁻¹, embora tenham regiões (na fronteira entre Brasil e Colômbia e Venezuela) em que o total anual atinge 3500 mm ano⁻¹. Nestas regiões não existem períodos de seca. Estes valores de precipitações elevadas próximo à Cordilheira dos Andes deve-se à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alíseos de leste da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Na região costeira (no litoral do Pará ao Amapá), a precipitação também é alta e sem período de seca definido, devido à influência das linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa litorânea durante o período da tarde e que são forçadas pela brisa marítima (Figura 09) (Nimer, 1989).

Quanto à complexidade das irregularidades das chuvas, é possível reduzi-la a três modelos de padrões espaciais, o Norte-Sul controlado principalmente pelo sistema de circulação N, enquanto que as chuvas ao sul variam em função, sobretudo, do sistema de W e, secundariamente, do sistema S. O modelo Leste-Oeste apresenta-se com uma oposição: enquanto freqüentemente nas áreas ocidentais da região chove ao longo de certos anos bem mais do que normalmente chove, nas áreas orientais chove bem menos, pois as áreas ocidentais dependem bem mais das chuvas do sistema oeste, enquanto que as áreas orientais são mais dependentes das chuvas de N e finalmente, o modelo Sudoeste-Nordeste, que parece emergir da combinação dos dois sistemas anteriores. O eixo Sudoeste-Nordeste estende-se do Acre-Rondônia ao Amapá-foz do rio Amazonas. Enquanto a Sudoeste as chuvas variam em função principalmente dos sistemas de Oeste e Sul, as de Nordeste dependem bem mais do sistema de Norte (Figura 09) (Nimer, 1989). Os meses com maior (inverno) e menor (verão) intensidade pluviométrica são de novembro a abril e junho a outubro, respectivamente (Santos & Ribeiro, 1988; Maia Neto & Lopes, 1994).

Estudos realizados na Amazônia Central indicam que mais de 75% da energia solar disponível à superfície são utilizadas para evapotranspiração e o restante, para aquecimento do ar. Na média anual, a evapotranspiração, na Amazônia, é responsável por mais que 50% do total de sua precipitação pluviométrica, sendo o restante trazido do oceano Atlântico pelos ventos alísios (Salati & Ribeiro, 1979; Molion, 1988).

A explicação do regime dos rios amazônicos está no próprio regime das chuvas que precipitam na bacia e no comportamento da circulação geral atmosférica, dentro da zona intertropical sul-americana (IBGE, 1977). Em uma primeira aproximação, a Bacia Amazônica funciona como um sistema que recebe, através da precipitação, $14,4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ de água por

ano, sendo este total balanceado por uma descarga superficial de $5,5 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{ano}$ e uma evapotranspiração de $8,9 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{ano}$. Desde que a transpiração pelas plantas representa 61,8% do balanço hídrico, tudo indica que um desmatamento intensivo deverá trazer alterações no ciclo hidrológico (Villa Nova et al., 1976). De acordo com Salati & Ribeiro, (1979) e Alvarenga (1997), não existem ainda dados que permitam prever com precisão as conseqüências da substituição ou simples destruição da cobertura vegetal da região amazônica.

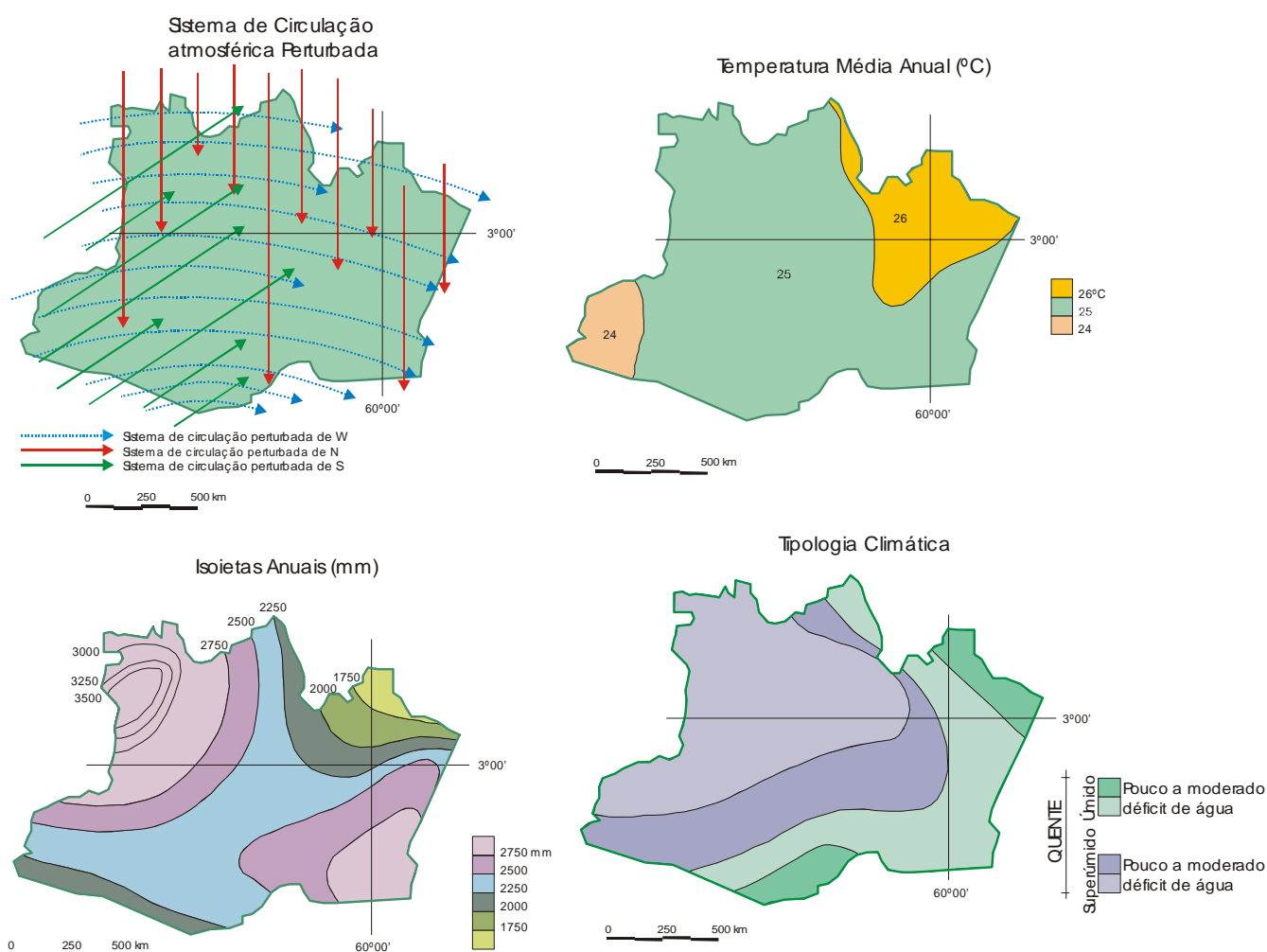


Figura 09. Mapas de circulação atmosférica, temperatura, pluviosidade e tipologia climática do estado do Amazonas (Nimer, 1989a).

O nível das águas do Amazonas, que resulta do maior ou menor aporte dos seus afluentes, começa a subir em novembro, atinge o clímax (as cheias) de maio a junho para cair, a partir de agosto, e chegar ao mínimo em novembro. Com a retração das águas, as partes

mais baixas da várzea, que geralmente ficam afastadas do rio, retêm a fauna aquática em lagos interiores, de forma a tornar a caça e a pesca altamente produtivas (Porro, 1995).

O potencial médio de água doce nos rios da Amazônia chega a 3.3845,5 km³/ano, representando cerca de 68% do total nacional e resultando numa disponibilidade social de 374.905 m³/hab./ano (Rebouças, 1997).

O rio Amazonas foi descoberto em janeiro de 1500, pelo espanhol Vicente Yanez Pinzon, que o chamou de “Mar Dulce”, e por Francisco Orelhana, que o percorreu de Oeste para Leste, em 1541, dando-lhe o nome em homenagem às presumíveis mulheres guerreiras encontradas na foz do rio Nhamundá (Beltrão, 2002). Nasce a 5.300 metros de altitude, na montanha Nevado Mismi, nos Andes peruanos com seus 1100 afluentes, tem 6.885 km de extensão.

É um rio tipicamente de planície, com um declive mínimo de 20 mm/km, e velocidade média de aproximadamente 2,5 km/h. Com uma largura média de 4 e 5 km em seu curso planiciário, o leito menor do Amazonas chega a atingir quase 10 km, no Pará; durante as grandes cheias, ao cobrir totalmente o seu leito maior (a várzea), chega a aproximadamente 50 km de largura (IBGE, 1977, Irion, 1994).

O rio Amazonas, que constitui o eixo principal ou espinha dorsal desse pujante sistema fluvial é dividido em três segmentos principais: o primeiro, cujas nascentes se encontram nos Andes peruanos, é chamado rio Marañon. Ao entrar no território brasileiro, ganha o nome de rio Solimões e finalmente, ao receber o grande rio Negro, em frente de Manaus, é que se inicia o rio Amazonas, até desembocar no Atlântico.

Na região Oeste, o rio Amazonas composto principalmente por água de origem Andina, apresenta elevada concentração de nutrientes e sedimentos. Na medida em que corre para o Leste, a concentração hidroquímica do Amazonas vai sendo, progressivamente, diluída por tributários que têm origem nos escudos cristalinos, como o rio Negro, ou na própria depressão Amazônica, como o rio Jutaí (Martinelli et al., 1989).

O Amazonas, com velocidade média de 4,5 km/h, leito variável, é o maior rio do mundo em extensão e volume de água, com uma descarga média anual de 220.000 m³/s, e o segundo em termos de descarga sólida com 1,2x10⁹ t/a, chegando a escoar 1/5 do volume da água doce de todo o planeta (Martinelli et al., 1989; CPRM, 1995; Alvarenga, 1997; Goulding, 2003).

Com 1.551 km de curso em leito fixo e com velocidade em torno de 2 km/h, o rio Negro é o segundo rio em importância no Estado. Foi descoberto por Francisco Orelhana, em

3 de junho de 1541 e era conhecido, anteriormente, por Iquiri e Ipixuna. Nasce na Colômbia na região de Popaiã. Dos rios amazonenses é o que possui maior aglomerado de ilhas, o arquipélago das Anavilhanas. O Negro encontra o Amazonas há aproximadamente 10 km a Leste de Manaus, gerando o famoso “encontro da águas”. A figura 10 mostra a cota máxima do rio Negro em relação ao nível do mar de janeiro de 1999 a julho de 2003.

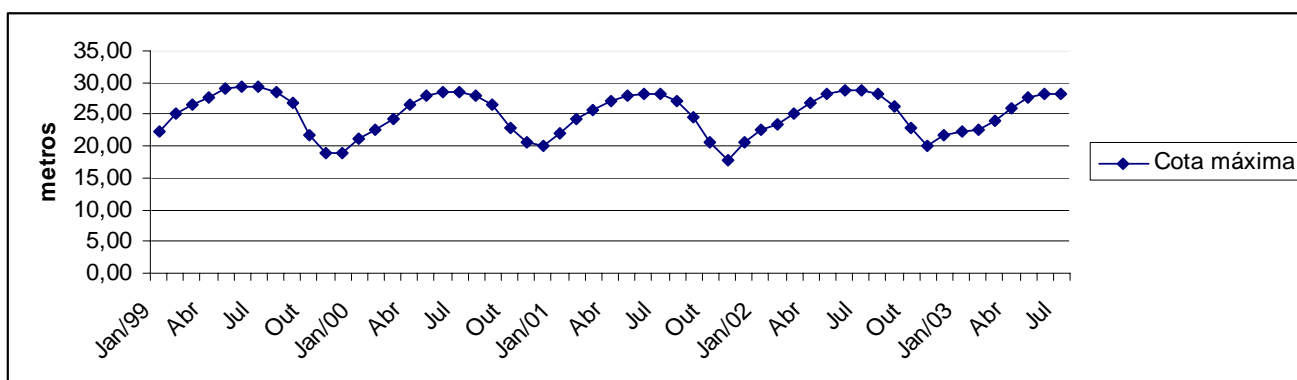


Figura 10. Cotas máximas mensais do nível do rio Negro (acima do nível do mar) de janeiro de 1999 a julho de 2003 (Dados obtidos no Setor de Engenharia Portuária de Manaus - AM).

A cor da água dos rios de águas pretas, como exemplo, o rio Negro e o Urubu, é causada pela forte dissolução de substâncias húmicas coloidais, que provêm do manto de matéria orgânica em decomposição, fornecida pela floresta que se desenvolve nas áreas inundáveis das suas nascentes e margens, bem como pelos solos podzólicos e arenosos das áreas campestres das suas cabeceiras (Sioli, 1985).

Os rios de água preta são ácidos e pobres em sais minerais dissolvidos. Por possuírem pouco material particulado em suspensão, não formam várzeas e sim praias e igapós, no período de cheia.

No estudo hidroquímico realizado por Santos & Ribeiro (1988) nas águas dos rios Solimões-Amazonas e afluentes, desde a fronteira do Brasil-Perú-Colômbia até o estado do Pará, verificou-se um decréscimo nas concentrações dos íons do rio principal, devido a dissolução desses íons pela contribuição e baixa mineralização dos tributários de água preta, sendo o cloreto o ânion mais abundante até a cidade de Codajás, onde a concentração do sulfato ficou superior, devido principalmente à contribuição do H_2S dos rios de água preta

(Rio Negro com maiores valores de ânions em relação aos cátions), lagos de várzea e terra firme existentes neste trecho.

Os rios mais jovens, os barrentos do Amazonas, são caracterizados pela instabilidade dos seus leitos, causada pela ação simultânea da sedimentação e da erosão, ricos em meandros que divagam nas planícies aluviais por eles construídas (IBGE, 1977).

Os furos e igarapés também têm grande importância dentro desse verdadeiro complexo hidrográfico. O furo é um canal, sem correnteza própria, que corta uma ilha fluvial, liga braços de rios no meio de planícies, rio com lago de várzea, lados de várzea, um paraná com o rio principal ou uma depressão de lago de várzea.

O igarapé é um riacho pequeno. Geralmente os igarapés fluem por túneis de vegetação e apresentam águas escuras, devido à quantidade de sedimentos depositados nos leitos e por receberem pouca luminosidade solar. O termo vem dos vocábulos indígenas "igara" (que é a canoa escavada em um tronco de árvore) e "apé ou pé" (que significa caminho). Os "caminhos de canoa" foram fundamentais na ocupação da região pelos índios, e até hoje participam diariamente do dia a dia dos habitantes de região.

Na hidrografia da Amazônia, se destacam inúmeros rios e lagos que apresentam os cursos sensivelmente retilíneos e, não raro, com acentuado paralelismo entre si. Esses elementos retilíneos se inter cruzam diagonalmente compondo um padrão angular dominante. Quando devidamente orientados, formam alinhamentos que alcançam até centenas de quilômetros. É de aceitação geral que os alinhamentos posicionam estruturas soterradas, principalmente falhas (Figura 11) (Andrade & Cunha, 1971).

Terraços fluviais foram assinalados ao longo do rio Amazonas, ocorrendo associados a alargamentos de sua planície de inundação e freqüentemente situados a montante de trechos estreitos. Essas associações fazem com que sejam relacionados à movimentação recente de possíveis altos estruturais. Movimentos de reativamento levantaram áreas que impediram o escoamento normal do rio. As águas represadas estabeleceram cursos mais longos e sinuosos à montante, depositando, erodindo e nivelando a topografia. Nas partes levantadas haveria uma erosão vertical mais intensa, causadora dos estreitamentos. Com base neste relacionamento do qual existe comprovação nas áreas de Manacapuru e Sul de Manaus, foram prognosticadas a existência de outros altos em Anamá, nas desembocaduras dos rios Preto da Eva e Urubu, a montante de Itacoatiara, desembocadura do rio Andirá e nas proximidades de Óbidos (Figura 11) (Andrade & Cunha, 1971).

4.1.2 Geologia regional e estrutural

A história geológica da região inicia-se no Arqueano (3200-2600 Ma), com a formação dos cinturões de rochas verdes (*greenstone belts*), durante o desenvolvimento do Evento Guriense. Logo após, formaram-se os extensos depósitos de rochas ferríferas e manganíferas, metamorfisados durante o Evento Guianense (2500 Ma). Posteriormente, a região foi afetada pelo evento Trans-Amazônico (2000 Ma) (fenômenos de granitização e migmatização). No Proterozóico médio (1700 Ma), a porção central da Amazônia começou a ser afetada pelo Evento de reativação tectônica denominado Paraense, que originou extensa granitização, vulcanismo ácido a intermediário e sedimentação. A seguir, e sempre em direção Oeste, a região foi afetada pelos Eventos de reativação Madeirense (1400 Ma) e Rondoniense (1000 Ma). Após cerca de 500 Ma e, com orientação aproximada E-W, instala-se o processo que deu origem à Bacia Sedimentar (Amaral, 1974).

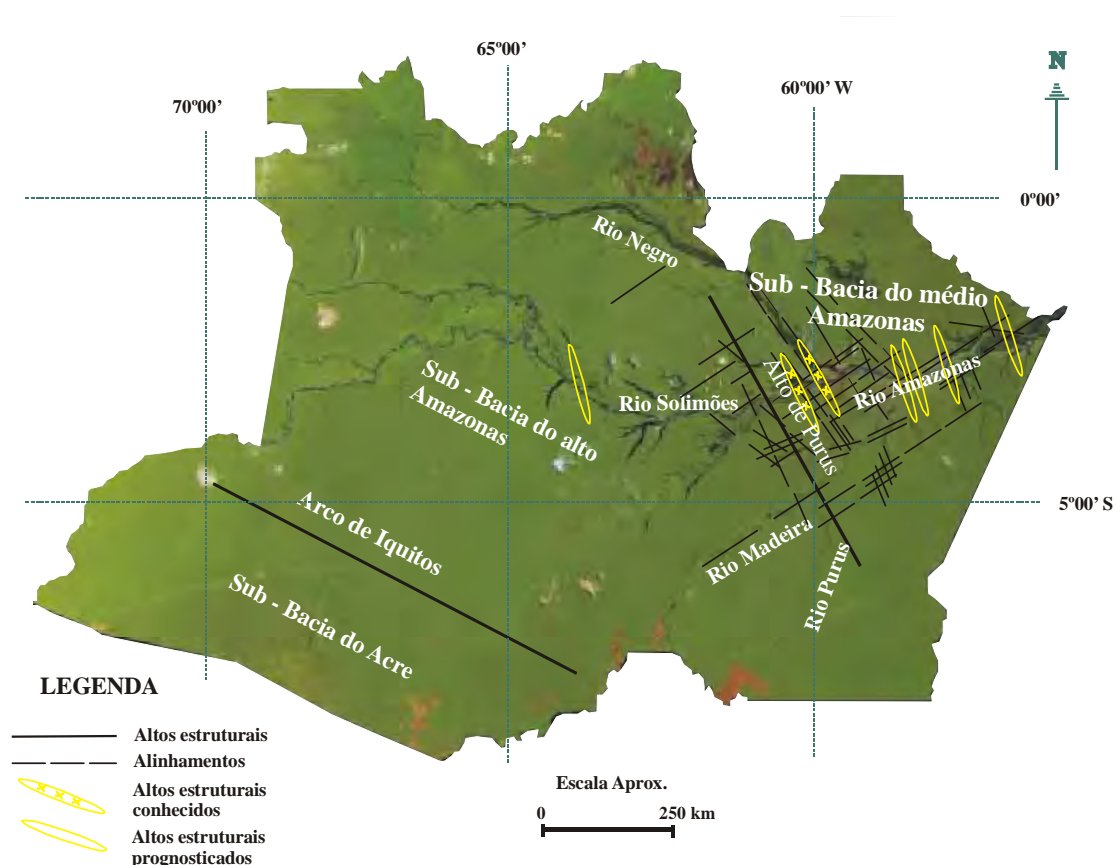


Figura 11. Localização das Sub-Bacias Sedimentares do Acre, Alto e Médio Amazonas com altos estruturais e alguns alinhamentos no estado do Amazonas (Modificado de Eiras et al., 1994).

A Bacia Sedimentar do Amazonas é intracratônica, com extensão da ordem de 2000 km, abrangendo parte dos estados do Amazonas e Pará, compreende de Oeste para Leste as Sub-Bacias do Alto, Médio e Baixo Amazonas, separadas, transversalmente, do embasamento pelos Arcos de Iquitos, Purus, Monte Alegre e Gurupá. Cabe assinalar que a Sub-Bacia do Alto Amazonas se articula com a Sub-Bacia do Acre, de significação tectônica diferente. Com espessura máxima que ultrapassa 4000 metros na Sub-Bacia do Médio Amazonas e pode atingir os 8000 metros na sub-bacia do Baixo Amazonas, forma alongada e paralela ao vale do Amazonas. Tanto em sua borda Norte e Sul, afloram rochas de idades Siluriana, Devoniana, Permo-Carbonífero e localmente Proterozóica. Análises preliminares dos calcários carboníferos aflorantes mostram uma fácies de deposição basinal, indicando que a bacia, em tempo pretérito, estendia-se além dos limites atuais (Andrade & Cunha, 1971; Amaral, 1974; Petri & Fúlvaro, 1988; Cunha et al., 1994). A figura 11 mostra a localização da subdivisão da Sub-Bacia do Acre, Alto e Médio Amazonas e a figura 13 o mapa geológico da região em estudo.

As seqüências pré-cambrianas fazem parte do Cráton do Guaporé e do Guianês que, possivelmente, foram separados no final do pré-cambriano para a formação da Bacia do Amazonas (Santos, 1981). O substrato Proterozóico é constituído por faixas móveis acrescidas a um núcleo mais antigo denominado Província Amazônia Central (Cordani et al., 1984).

Cunha et al. (1994) admitem que a origem da bacia esteja relacionada à dispersão de esforços no fechamento do Ciclo Proterozóico Brasileiro. Possivelmente o *rift* precursor do Amazonas teve origem devido a esforços compressionais na direção Leste-Oeste controlados pela reativação de fraturas pré-cambrianas e esforços de alívio norte-sul. Logo após, houve o resfriamento das massas plutônicas e o desenvolvimento de uma sinéclise intracontinental, predominância de movimentos verticais e atividade vulcânica continental associados à sedimentação em *onlap* a partir do Neo-Ordoviciano, originando assim, a sucessão sedimentar da Bacia do Amazonas que se inicia com o Grupo Purus (Figura 12) (Santos, 1981; Petri & Fúlvaro, 1988; Cunha et al., 1994).

As discontinuidades presentes no substrato da Bacia do Amazonas impuseram certamente condições de subsidência diferentes nos diversos segmentos, quaisquer que tenham sido os processos desencadeadores da bacia (Cordani et al., 1984).

Os processos de subsidência iniciaram-se no Ordoviciano superior, resultando na deposição dos arenitos da base do Grupo Trombetas. A seguir, a região foi invadida pelo mar proveniente do Leste, que depositou o restante do Grupo, no Devoniano inferior. O Grupo Trombetas é constituído pelas Formações: Altás-Mirim (arenitos e folhelhos neríticos), Nhamundá (arenitos neríticos e depósitos glaciogênicos), Pitinga (folhelhos e diamictitos marinhos) e Manacapuru (arenitos e pelitos neríticos e litorâneos). Este Grupo assenta-se em discordância ao Grupo Purus (Figura 12) (Petri & Fúlfaro, 1988; Cunha et al., 1994).

Novo ciclo transgressivo-regressivo ocorreu na bacia, posterior à discordância relacionada à Orogenia Caledoniana, originando os sedimentos dos Grupos Urupadi formado pelas Formações Maecuru (arenitos e pelitos neríticos e deltaicos) e Ererê (siltitos, folhelhos e arenitos neríticos e deltaicos) e Grupo Curuá abrangendo as Formações Barreirinha (folhelho cinza-escuro e preto, depositado durante a transgressão global), Curiri (diamictitos, folhelhos e siltitos de ambiente glacial), Oriximiná (arenitos e pelitos de ambiente fluvial regressivo) e Faro (arenitos finos e grosseiros flúvio-deltáicos com influência de tempestade), apresentados na Figura 12. Nesta fase, com o recuo do mar, a bacia sofreu um extenso processo erosivo (Brito, 1979; Cunha et al., 1994).

O Grupo Tapajós, composto pelas Formações Monte Alegre (arenitos, siltitos e folhelhos), Itaituba (calcários e margas) e Nova Olinda (evaporitos: halitas e anidritas) é oriundo de um novo ciclo deposicional transgressivo-regressivo, ocorrido entre o Neocarbonífero e o Neopermiano, associado a mudanças climáticas de frio para quente árido. O Paleozóico encerra-se com a deposição dos siltitos vermelhos e verdes, arenitos e folhelhos da Formação Andirá (Figura 12) (Brito, 1979; Cunha et al., 1994).

Esforços Norte-Sul gerados pela Orogênese Gonduanide, possivelmente, fraturaram o Escudo das Guianas e transversalmente as bacias amazônicas, provocando um soerguimento e posterior erosão. Em seguida, a bacia sofreu distensão Leste-Oeste, seguida do Magmatismo Básico Penatecaua (intrusões por um magma básico, com diques e sills) na direção Norte-Sul com ocorrência em Roraima, no Alto Rio Negro, no Suriname, nas Guianas, no setor Sul da Plataforma Amazônica e sob os sedimentos da Bacia do Amazonas (DNPM, 1984; Cunha et al., 1994).

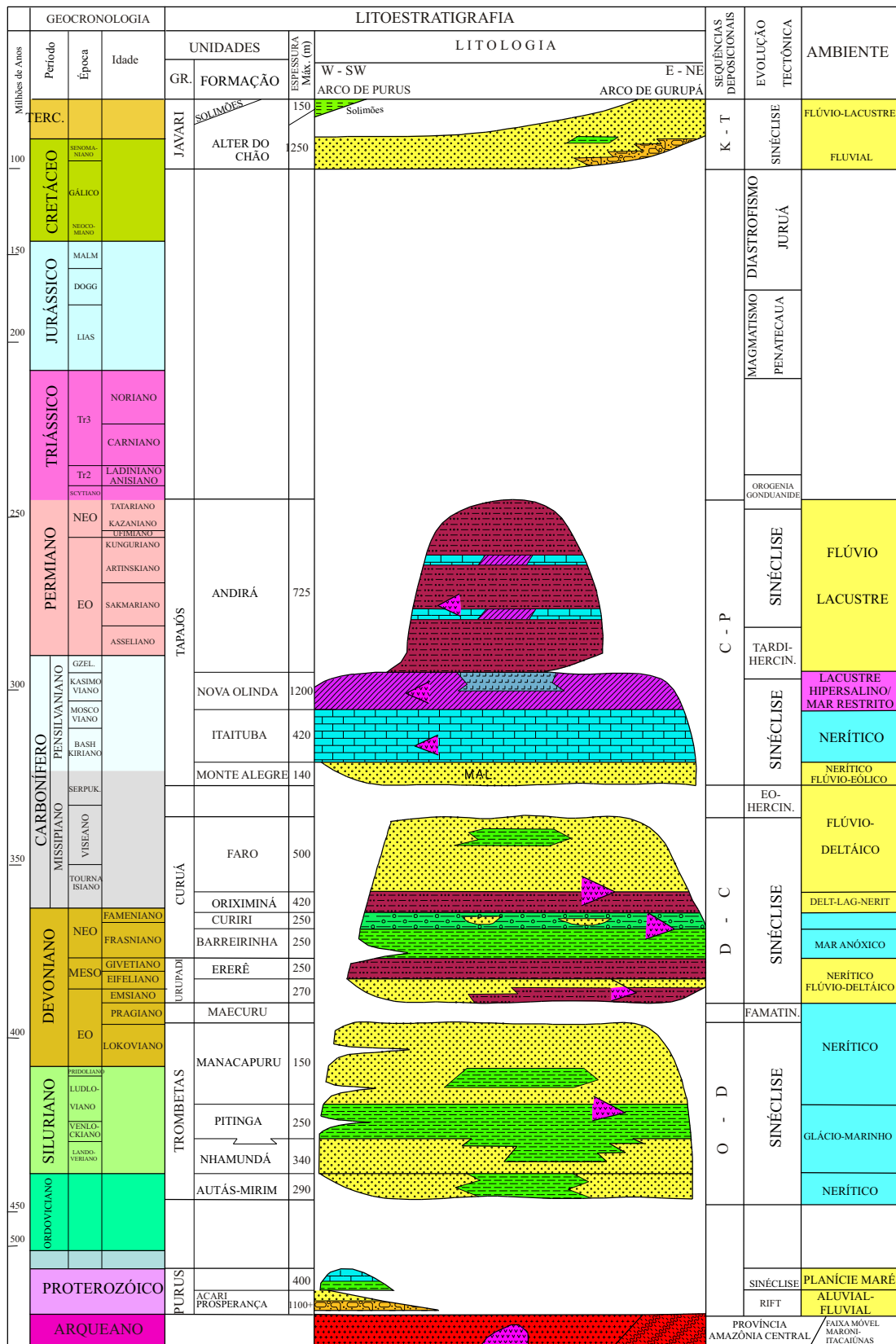


Figura 12. Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas (Adaptado de Cunha et al., 1994).

No Amazonas, após a sedimentação permiana, houve prolongada erosão até o início dos tempos Neocretáceos, os possíveis derrames foram erodidos restando, atualmente, quase só rochas hipoabissais dessa idade (Petri & Fúlfaro, 1988).

Um relaxamento dos esforços compressionais ENE-WSW do Diastrofismo Juruá, originados a partir da abertura do Atlântico Equatorial, a Leste, e da zona de subducção andina Cretácea, a Oeste da placa Sul-americana, criou sítios deposicionais para a implantação do ciclo Cretáceo-Terciário, representado pelo Grupo Javari, o que resultou nos sedimentos da Formação Alter do Chão (Cretáceo) nas sub-bacias do Alto, Médio e Baixo Amazonas e pela Formação Solimões (Terciário), apenas margeando a parte ocidental da Bacia Sedimentar do Amazonas (Figura 12) (Eiras et al., 1994). Segundo Costa et al. (1995) o Evento Sul-Atlântico, no Mesozóico, é o responsável pelo desenvolvimento das bacias do Amazonas e de Marajó.

O início de Cenozóico assistiu a uma tendência a soerguimento e flutuações transgressivas-regressivas. A Formação Solimões (Mioceno-Plioceno), revalidada por Caputo et al. em 1972, estende-se por ampla área do Acre e da parte Oeste do Amazonas, guardando uma relação de discordância com a Formação Alter do Chão e alcançando grandes espessuras. As duas unidades litoestratigráficas são produtos de uma sedimentação típica de ambientes de planície de inundação, representados por uma mescla de depósitos de canais e de transbordamento, correspondentes às duas grandes estações climáticas regionais (chuvas e secas). A Formação Solimões é constituída por duas litologias que se interdigitam: uma é predominantemente argilosa com lentes de arenitos, concreções de calcário e gipso e outra com lentes de linhitos. A Formação Alter do Chão é constituída por argilas, siltes e areias interdigitadas, predominantemente vermelhas, mal selecionadas, feldspáticas e com conteúdo variável de micas, distribuindo-se por toda a Amazônia Ocidental (Figura 13) (Lourenço et al., 1978; Petri & Fúlfaro, 1988; Eiras et al., 1994; Fernandes Filho et al., 1997).

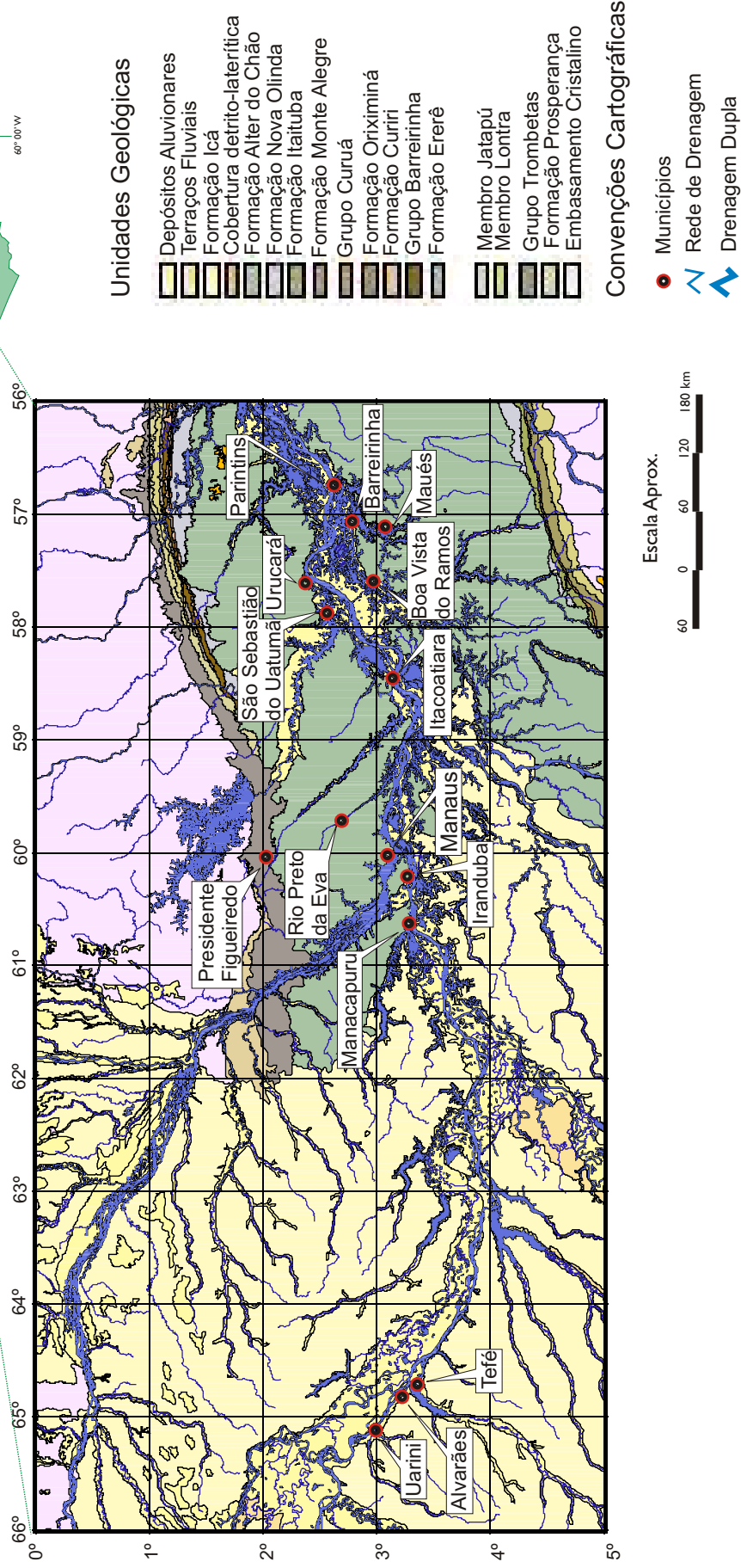
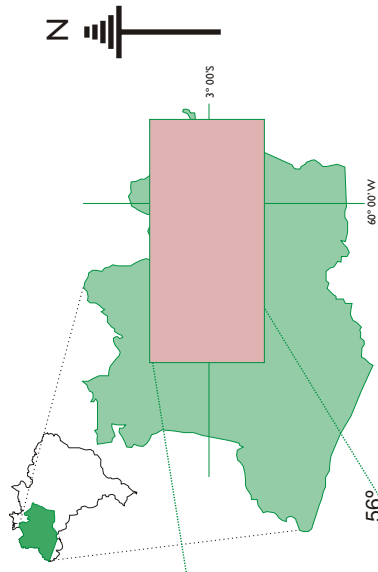
A Formação Alter do Chão, parte da seqüência Pós-rifte da Bacia do Marajó, juntamente com a Formação Ipixuna são os registros das últimas manifestações da Reativação Wealdeniana ou Evento Sul-Atlântico. Nestas unidades e em outras mais antigas desenvolveu-se um perfil de solo laterítico maturo (Figura 13), atribuído ao Eoceno-Oligoceno, relacionado a importante período de estabilidade tectônica. Em seguida sobrevieram processos de estruturação, morfogênese e sedimentação até hoje em vigor, relacionados com atividades neotectônicas do tipo transcorrente. Dois pulsos de movimentação, atribuídos aos intervalos Mioceno-Plioceno e Pleistoceno superior –

Holoceno, estão representados por deslocamentos, sedimentação, morfogênese e controle de drenagem (Suguio, 1999).

As unidades litoestratigráficas do intervalo Neógeno - Quaternário exibem íntima relação com os movimentos neotectônicos e são representadas pelas formações Solimões, Pirabas, Boa Vista e Barreiras, bem como pelas formações lateríticas, além de depósitos quaternários (Suguio, 1999).

Os lateritos mais antigos são designados de Lateritos Maturados e são provavelmente do Terciário inferior. Os mais novos são designados de Lateritos Imaturos e datam possivelmente do terciário superior ao Pleistoceno. São constituídos por horizontes ferro-alumino-argilosos, pouco evoluídos, menos profundos e desprovidos de horizontes bauxíticos ou bauxítico-fosfáticos. Deformações de 'linhas-de-pedra' nos Lateritos Imaturos mostram que os movimentos tectônicos estenderam-se até o quaternário (Suguio, 1999).

Em decorrência do baixíssimo gradiente hidráulico do Amazonas e seus afluentes, os detritos quaternários são depositados sob a forma de diques, cujos flancos externos passam, suavemente, às extensas várzeas. Esses depósitos aluvionários recentes chegam a formar ilhas nas calhas dos rios Negro e Solimões. As áreas mais altas, livres das enchentes, são regionalmente chamadas de tesos, constituídos por argilas e arenitos frequentemente endurecidos por cimento limonítico que se elevam de 6 a 15 m acima do nível das águas (Figura 14) (Lourenço et al., 1978; Petri & Fúlfaro, 1988; Irion et al., 1994).



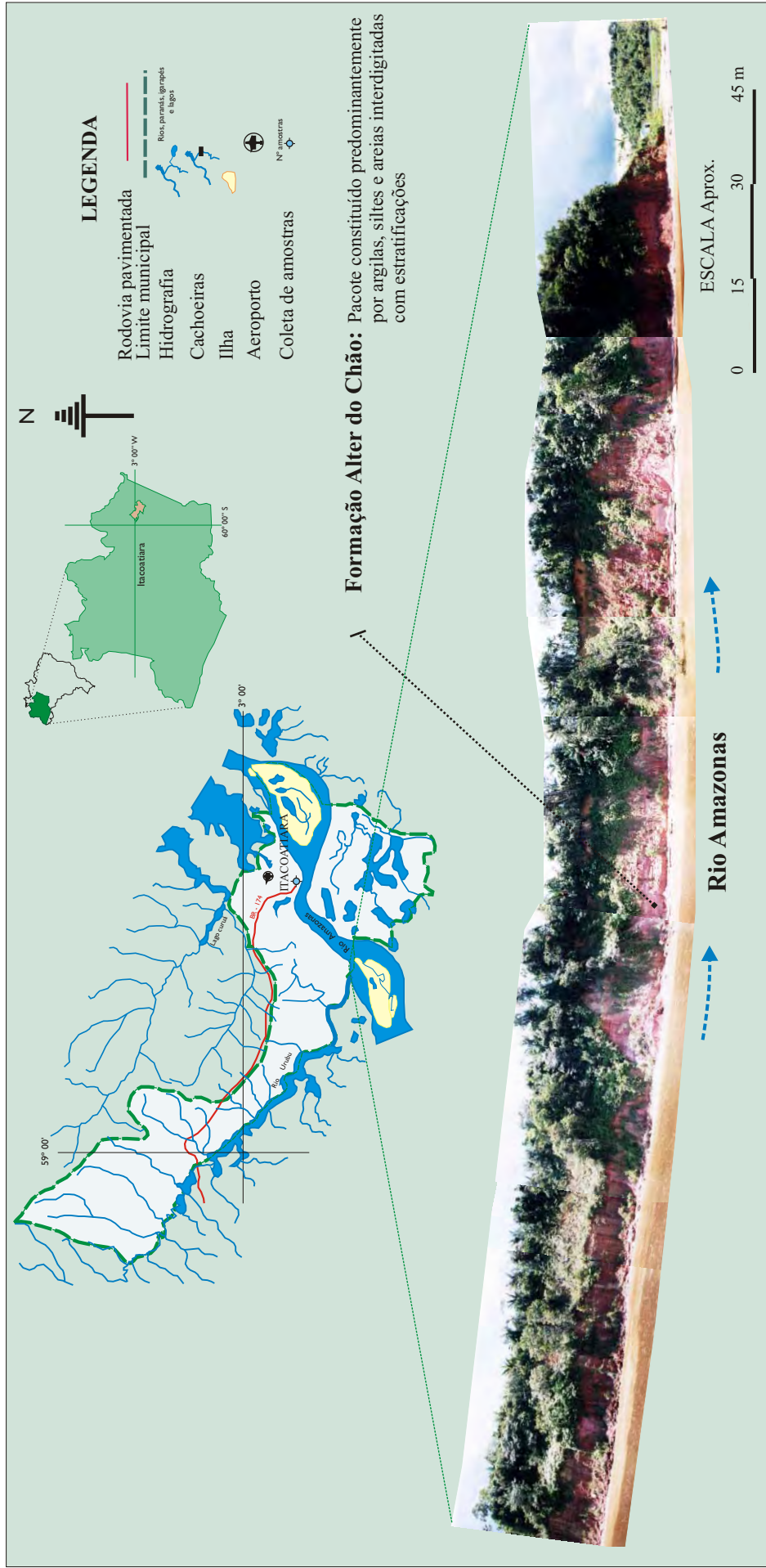


Figura 14. Margem esquerda do rio Amazonas, município de Itacoatiara - AM 2002.

4.2 Itacoatiara

Possui as seguintes coordenadas geográficas: 03° 09' S e 58° 27' W. Situado na zona fisiográfica do Médio Amazonas, limita-se com os municípios de Autazes, Careiro da Várzea e Nova Olinda do Norte a Sul, Silves e Itapiranga a Norte, Urucurituba, Boa Vista do Ramos e Maués a Leste e Manaus e Rio Preto da Eva a Oeste (Figura 35).

A sede municipal está localizada à margem esquerda do rio Amazonas a 18 m de altitude e a 266 km da capital do Estado pela rodovia AM-10 (toda asfaltada com média de percurso em 3:30 h de automóvel - com linha de ônibus regular) e 204 km pelo rio Amazonas (fazendo este percurso de subida em 14:00 h, e descida em 09:00 h de barco de médio porte) (Figura 15). Por via aérea, fica a 176 km com o tempo de vôo de 30 minutos.



Figura 15. Embarcações na zona portuária de Itacoatiara – rio Amazonas.

A distribuição de água está a cargo do SAAE com captação feita por diversos poços tubulares (vazão total até 160 m³/h) e distribuída à cerca de 2/3 da cidade (Figura 16 e 17). Em Itacoatiara o SAAE tem um pequeno laboratório, montado pela Fundação Nacional de Saúde, onde faz algumas análises físicas, físico-químicas e biológicas (Figura 18). Na parte central da cidade as casas são dotadas de fossas sépticas e na periferia o uso de fossas secas é generalizado.



Figura 16. Poço tubular de propriedade do SAAE - coleta de amostra em Itacoatiara - AM - 2000.



Figura 17. Prédio onde a água dos poços é clorada para o consumo da população de Itacoatiara - AM - 2000.



Figura 18. Laboratório do SAAE em Itacoatiara - AM - 2000.

4.3 Rio Preto da Eva

A sede municipal situa-se a $02^{\circ} 41' S$ e $59^{\circ} 41' W$ (Figura 19) com altitude de 21 metros acima do nível do mar (Figura 36). Situado na zona fisiográfica do Médio Amazonas, Rio Preto da Eva faz limite com os municípios de Itapiranga, Itacoatiara, Manaus e Presidente Figueiredo e possuindo uma área de 5.591 km^2 , tem uma população de 21.166 habitantes residentes (IBGE, 2001).



Figura 19. Rio Preto da Eva, município de Rio Preto da Eva – AM- 2000.

O acesso à capital é pela rodovia AM-010 com 80 km de extensão. As companhias aéreas não operam na região. Empresas de transportes coletivos fazem regularmente as linhas Rio Preto da Eva-Manaus e Rio Preto da Eva-Itacoatiara.

O SAAE é o responsável pela captação e distribuição de água à população da área urbana. A captação é do tipo subterrânea, por poços tubulares.

4.4 Manacapuru

O município situa-se na zona fisiográfica do Médio Amazonas. Faz limites com Manaus a Nordeste, Careiro a Leste, Borba a Sudeste, Tapauá a Sul, Coari a Sudoeste, Anori e Codajás a Oeste e Novo Airão a Norte. Posiciona-se a 03° 18' S e 60° 33' W, possuindo uma área de 7.335 km² (Figura 37) (IBGE, 2001).

A cidade de Manacapuru está localizada à margem esquerda do rio Solimões a 34 m de altitude. Está distante de Manaus, 79 km em linha reta e 157 km por via fluvial. O acesso à capital é pela rodovia AM-70 com 87 km de extensão. O acesso também pode ser feito por via aérea, com aviões de pequeno porte. As companhias aéreas não operam regularmente.

Os principais rios navegáveis são o Solimões, Purus e o Manacapuru. Não possui porto organizado; as embarcações utilizam o barranco do Solimões, em frente à cidade, para a atracação.

O abastecimento de água é feito pelo SAAE, por captação de água de poços tubulares. Sendo comuns, vazões baixas (Figura 20).



Figura 20. Coleta de amostra em poço tubular na cidade de Manacapuru - AM - 2001.

4.5 Iranduba

Situado na zona fisiográfica do Médio Amazonas, o município de Iranduba faz limite com Manacapuru, Careiro, Manaquiri, Novo Airão e Manaus. Situa-se a 03° 16' S e 60° 10' W, com 30 m de altitude e 2.345 km² de área. (Figura 38) (IBGE, 2001).

O município de Iranduba é um dos mais próximos de Manaus. O acesso por via fluvial e por estrada asfaltada que faz a ligação com Manaus (22 km) e Manacapuru (60 km), havendo linha regular de ônibus. Não existe transporte aéreo para o município.

O abastecimento de água é feito através do bombeamento de água superficial e poços tubulares com baixas vazões.

4.6 Presidente Figueiredo

A sede do município situa-se a 03° 18' S e 60° 12' W, com altitude média de 120 m, fica a 107 km ao Norte de Manaus com acesso pela rodovia BR-174 (Manaus/Roraima/Venezuela) (Figura 39). Situado na zona fisiográfica do Médio Amazonas, tem seus limites definidos com os municípios de Urucará, São Sebastião do Uatumã, Itapiranga, Rio Preto da Eva, Manaus, Novo Airão e o estado de Roraima.

Presidente Figueiredo é detentor de um dos mais belos patrimônios naturais do Estado que inclui cachoeiras, corredeiras (Figura 21), grutas, cavernas, áreas de preservação ambiental (Reserva Biológica do Uatumã e Área de Proteção ambiental de Presidente Figueiredo), sítios arqueológicos reservas dos índios Uaimiri-Atroari; além da mineração do Estanho pelo Grupo Paranapanema que gerou a vila do Pitinga, uma das mais importantes do município.

A vila de Balbina, distante 87 km de Presidente Figueiredo, foi construída para abrigar os funcionários da hidroelétrica de Balbina, no rio Uatumã. O lago formado com a construção da barragem tem uma área de aproximadamente 1.580 km².

Os serviços de captação e distribuição de água à população da sede do município são administrados pelo SAAE. A captação é feita na fonte de água de Empresa particular. Na sede do município não existe poço para captação de água subterrânea.



Figura 21. Corredeira de Urubui em Presidente Figueiredo - AM - 2001.

4.7 Manaus

Situa-se na zona fisiográfica do Médio Amazonas e faz limites com os municípios de Itacoatiara a Leste, Careiro a Sul, Manacapuru a Oeste e Novo Airão a Norte. Localiza-se a 03° 08' S e 60° 00' W, à altitude de 21 m e área de 11.408 km² (Figura 40) (IBGE, 2003).

A população do município é de 1.403.796 habitantes, com 683.991 homens e 719.805 mulheres residentes (IBGE, 2003). Caracteriza-se por apresentar grande percentagem populacional concentrada na área urbana, efeito de uma urbanização crescente que vem provocando o êxodo rural, a partir da implantação da Zona Franca de Manaus.

As principais vias fluviais que servem aos municípios, tanto no fluxo de passageiros como de cargas são, os rios Negro, Solimões e Amazonas (Figura 22). O acesso à área também é feito pela maioria das companhias aéreas nacionais e internacionais. A aviação constitui o principal meio de transporte de Manaus para outros Estados.

O município dispõe, ainda, de um sistema de rodovias em condições regulares de tráfego, onde se destacam: Manaus-Itacoatiara (AM-010), Manaus-Cacau Pereira-Manacapuru (AM-070), Manaus-Caracará/RR (BR-174) e Manaus-Humaitá-Porto Velho/RO (BR-319), com 1070 km, em sua maioria intransitável.



Figura 22. Vista parcial da zona portuária de Manaus - AM a partir do rio Negro- 2002.

Em Manaus, o abastecimento de água é realizado pela Águas do Amazonas (Companhia Francesa), sendo efetuado por poços tubulares e por captação da drenagem superficial do rio Negro, além de milhares de poços e cacimbas perfurados, em muitos casos, sem devida adequação às normas técnicas de perfuração.

Alguns estudos (Silva, 1996; Silva 1999), referentes à água subterrânea, mostram que essa água de Manaus é de excelente qualidade para o consumo humano e industrial. Exceto poços rasos (até 50 metros) perfurados na zona urbana que geralmente têm apresentado contaminação bacteriológica.

4.8 Parintins

O município situa-se na zona fisiográfica do Médio Amazonas, com sua sede localizada à margem direita do rio Amazonas, tem como limites o estado do Pará e os municípios de Nhamundá, Barreirinha, Urucará e Urucurituba. Posiciona-se à 02° 27' S e 56° 14' W, com altitude de 15 m, área de 5.978 km² e distancia-se de Manaus 371 km, em linha reta e 420 km por via fluvial (Figura 41).

O acesso é feito pelos rios Amazonas, paraná do Ramos, Mamuru e Uaicurapé. Existem diversas empresas aéreas servindo a cidade. O acesso por rodovias não existe.



Figura 23. Vista parcial da cidade de Parintins - AM - 2001.

Na década de 30, a Vila Amazônia recebe o maior foco da migração japonesa à região, estimulada pelo cultivo da juta (Beltrão, 2002). Vila Amazônia fica a 20 minutos de Parintins por via fluvial (Figura 24).



Figura 24. Vista parcial da vila Amazônia - Parintins - AM - 2001.

Parintins possui um sistema de abastecimento de água com captação por poço tubular, distribuída pelo SAAE. Os poços localizam-se, geralmente, na área mais densamente povoada da cidade, na circunvizinhança do principal cemitério, apresentando pouca profundidade.

4.9 Barreirinha

Área da unidade territorial 5.724 km² e altitude do distrito sede do município de 19 metros, com 02° 47' S e 57° 53' W (Figura 42) (IBGE, 2001).

Situado na zona fisiográfica do Médio Amazonas, dista de Manaus 372 km em linha reta e 420 km por via fluvial e faz limites com os municípios de Parintins, Maués, Boa Vista do Ramos, Urucurituba e com o Estado do Pará.

Os principais rios da região são: Andirá, Ariaú, paraná do Ramos e o paraná do Massauari (Figura 25).

A captação de água para o fornecimento à população é feita pelo SAAE. Com apenas dois poços tubulares funcionando.



Figura 25. Vista parcial da zona portuária da cidade de Barreirinha – AM - 2001.

4.10 Maués

Área da unidade territorial 39.989 km² correspondente a 2,54% da área total do Estado. A altitude do distrito sede do município é de 18 metros, com 03° 38' S e 57° 60' W (Figura 43) (IBGE, 2001).

Situado na zona fisiográfica do Médio Amazonas, faz limite ao norte, com os municípios de Boa Vista do Ramos, Barreirinha e Itacoatiara. Ao sul, com o município de Apuí. A leste, com o Estado do Pará. A oeste, com os municípios de Borba e Nova Olinda do Norte. Dista da capital do Estado 267 km em linha reta e 356 km por via fluvial.

A divisão urbana da sede do município é composta por uma área central e os bairros Ramalho Jr., Maresia, Mirante do Éden, Mário Fonseca, Santa Tereza, Cel. Negreiros e Donga Michilis. As vilas de Vera e Cruz (Figura 27) e Canarana (Figura 28) são as mais próximas da sede municipal.

Em frente à cidade, ocorre o encontro das águas esbranquiçadas do Paraná do Urariá com a água de negra do rio Maués-Açú, principal rio do município.

O abastecimento e distribuição de água do município são feitos pelo SAAE, sendo a captação por poços tubulares.



Figura 26. Vista parcial da zona portuária da cidade de Maués - AM - 2002.



Figura 27. Vista parcial da vila de Vera Cruz - Maués - AM - 2002.



Figura 28. Vista parcial da vila de Canarana - Maués - AM - 2002.

4.11 Boa Vista do Ramos

Situado na zona fisiográfica do Médio Amazonas, dista de Manaus 270 km em linha reta e por via fluvial 367 km. Área da unidade territorial 2.586,65 km² (Figura 44). A sede do município situa-se à margem direita do paraná do Ramos a 17 metros acima do nível do mar, sobre área de terra firme e topografia semi-plana. Tem seus limites com Barreirinha, Maués e Urucurituba (IBGE, 2001).

As principais vias de acesso são os rios. Os barcos a motor que fazem a linha Parintins - Manaus escalam regularmente em Boa Vista do Ramos para o deslocamento à capital do Estado, que são necessários 16 horas, em média (Figura 29).

O SAAE é o órgão de fornece água à população, sendo feito apenas por dois poços tubulares.



Figura 29. Vista parcial da cidade de Boa Vista do Ramos - AM - 2002.

4.12 Urucará

Localiza-se à margem esquerda do Paraná de Urucará e a sede municipal situa-se a $02^{\circ} 53' S$ e $57^{\circ} 60' W$ com altitude média de 26 m (Figura 45). Situado na zona fisiográfica do Médio Amazonas, faz limites com os municípios de Nhamundá, Urucurituba, Itapiranga, São Sebastião do Uatumã, Presidente Figueiredo e com o Estado de Roraima. Dista da capital do Estado 259 km em linha reta e 270 por via fluvial (IBGE, 2001). De Urucará há linhas de navegao regulares para Manaus, Parintins e Santarém - PA.



Figura 30. Vista parcial da cidade de Urucará – AM - 2002.

A captação de água para o fornecimento à população é feita pelo SAAE, com apenas dois poços tubulares funcionando na sede municipal. As comunidades de Bonança, Amanari, Boa Esperança e Castanhal são as mais desenvolvidas do município com a água de abastecimento também sendo produto de poços tubulares.

4.13 São Sebastião do Uatumã

A sede do municipal situa-se à margem esquerda do rio Uatumã, afluente do rio Amazonas a 18 metros acima do nível do mar e posiciona-se a 2°23' S e 57°44' W (Figura 46). Situado na zona fisiográfica do Médio Amazonas, tem seus limites com os municípios de Itapiranga e Presidente Figueiredo. Área da unidade territorial 10.740,81 km² (Figura 31) (IBGE, 2001).

O abastecimento de água é de responsabilidade do SAAE com captação subterrânea através de poços tubulares.



Figura 31. Vista parcial da cidade de São Sebastião do Uatumã - AM - 2002.

4.14 Tefé

A área municipal corresponde a 23.704,67 km². Situado na zona fisiográfica do Alto Amazonas, a sede do município situa-se a 3°21' S e 64°40' W, estando na margem direita do rio Japurá (Figura 47). Sua altitude é de 47 m acima do nível do mar e dista da capital do Estado 516 km em linha reta e 663 km por via fluvial.

Linhas de navegação regulares ligam diariamente Tefé a Manaus, com escalas em Coari, Codajás e Anori (Figura 32). A cidade dispõe de serviço de Táxi e Moto-Táxi. O aeroporto recebe aviões de grande porte com vôos regulares.

A distribuição de água do município está a cargo do SAAE. A captação é do tipo subterrânea e feita por poços tubulares.



Figura 32. Praia da zona portuária - lago de Tefé - AM - 2002.

4.15 Alvarães

O município de Alvarães tem área correspondente de 5.911,78 km² (Figura 48). Situado na zona fisiográfica do Alto Amazonas, a sede do município está localizada à margem direita do rio Solimões, aos 3°12'S e 64°48'W e dista de Manaus, 538 km (em linha reta) e 2 horas da cidade de Tefé em barco a motor (Figura 33). A altitude do distrito sede do município é de 55 metros acima do nível do mar. Faz limite com Marãã, Tefé, Juruá e Uarini (IBGE, 2000).

O SAAE é o responsável pela captação e fornecimento de água à população. A captação é do tipo subterrâneo, com três poços funcionando.



Figura 33. Vista parcial da cidade de Alvarães - AM - 2002.

4.16 Uarini

O município de Uarini tem área correspondente de 10.246,32 km² (Figura 34). Situado na zona fisiográfica do Alto Amazonas, a sede do município está à margem esquerda do lago de Uarini aos 3°13' S e 65°07' W e a 50 metros acima do nível do mar (Figura 49). Dista de Manaus, 570 km (em linha reta) e 3,5 horas da cidade de Tefé em barco a motor (IBGE, 2000).

A distribuição de água do município está a cargo do SAAE. A captação é do tipo subterrânea e feita por poços tubulares.



Figura 34. Vista parcial da cidade de Uarini – AM – 2002.

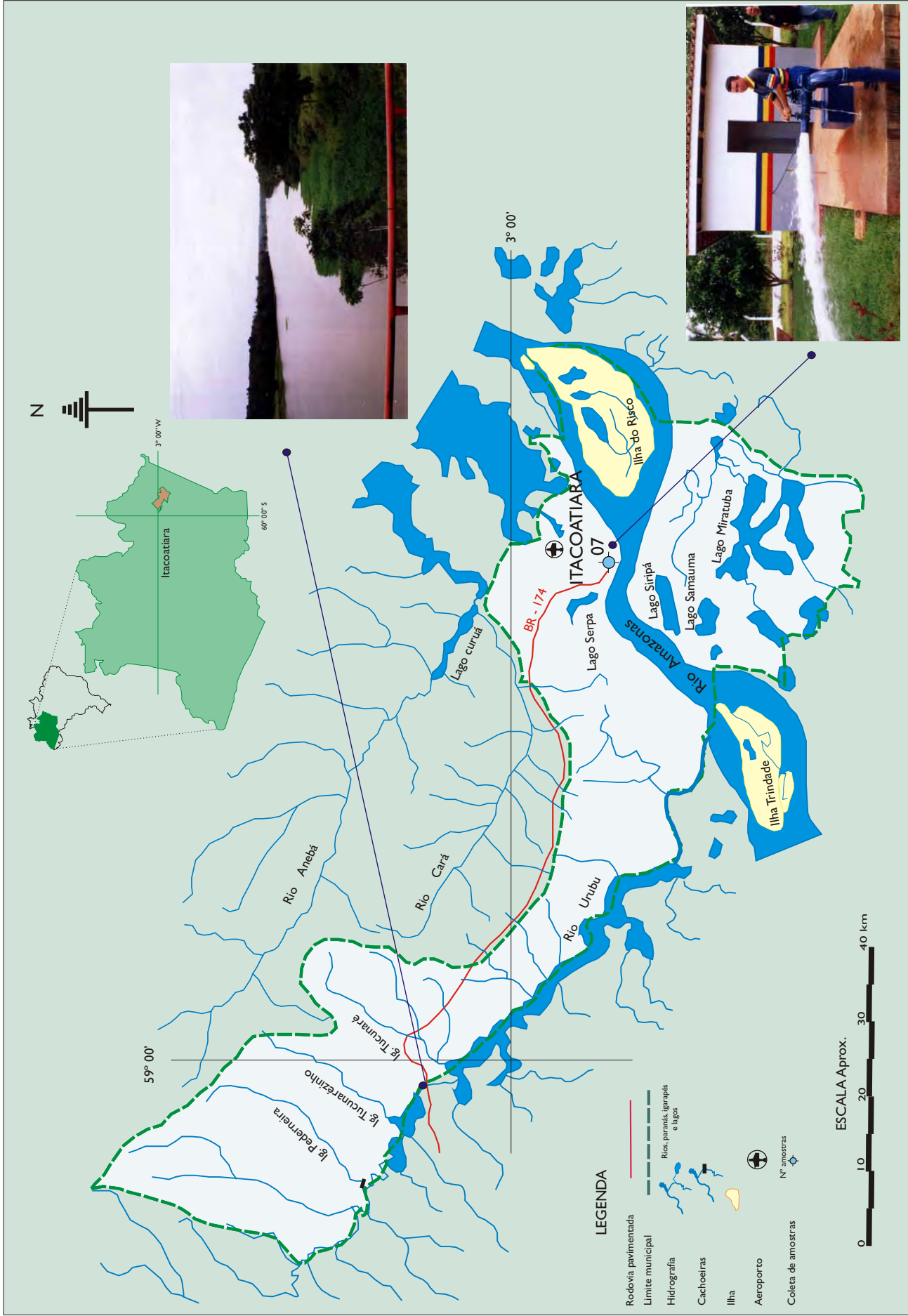


Figura 35. Mapa de localização do município de Itacoatiara e poços amostrados.

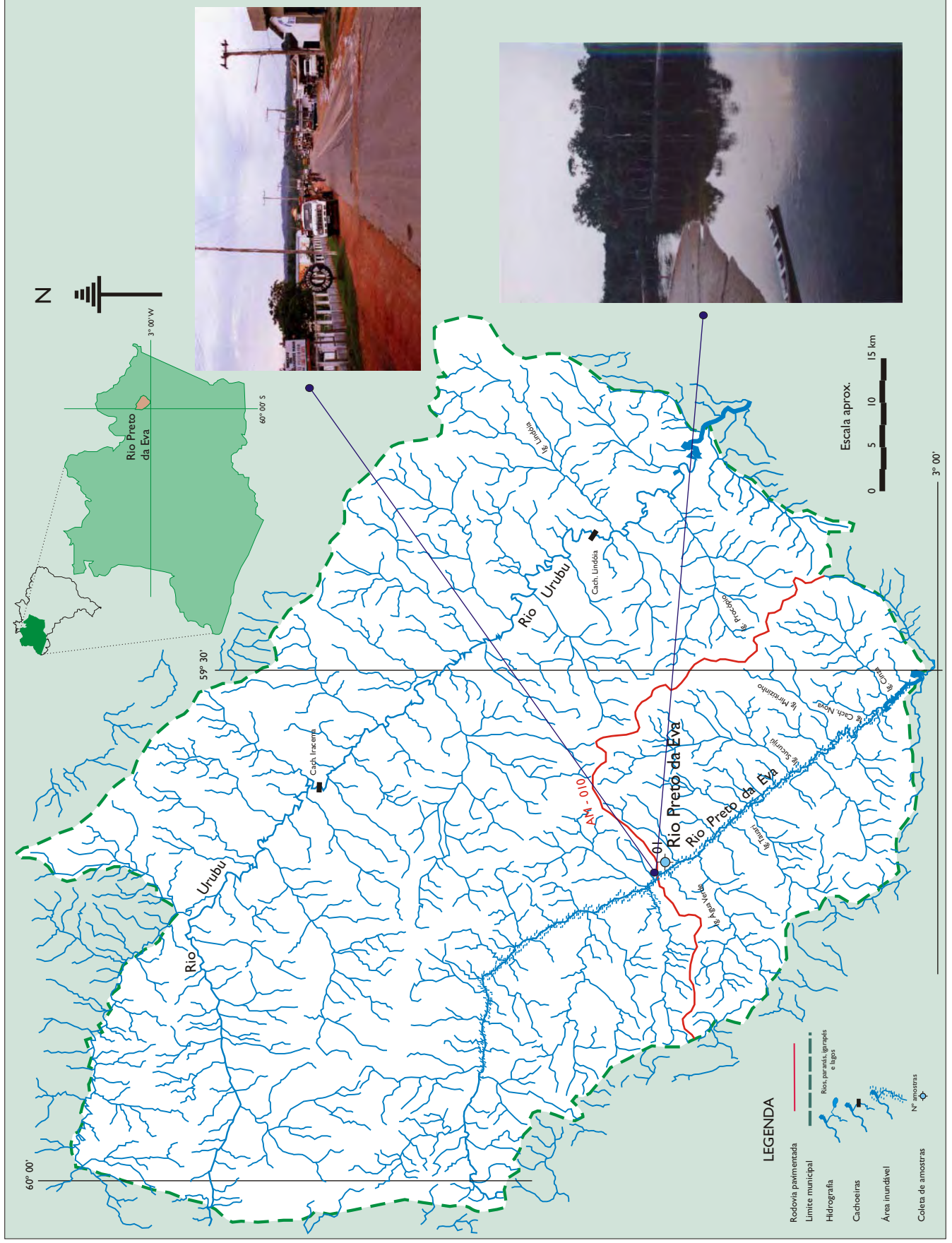


Figura 36. Mapa de localização do município de Rio Preto da Eva e poços amostrados.

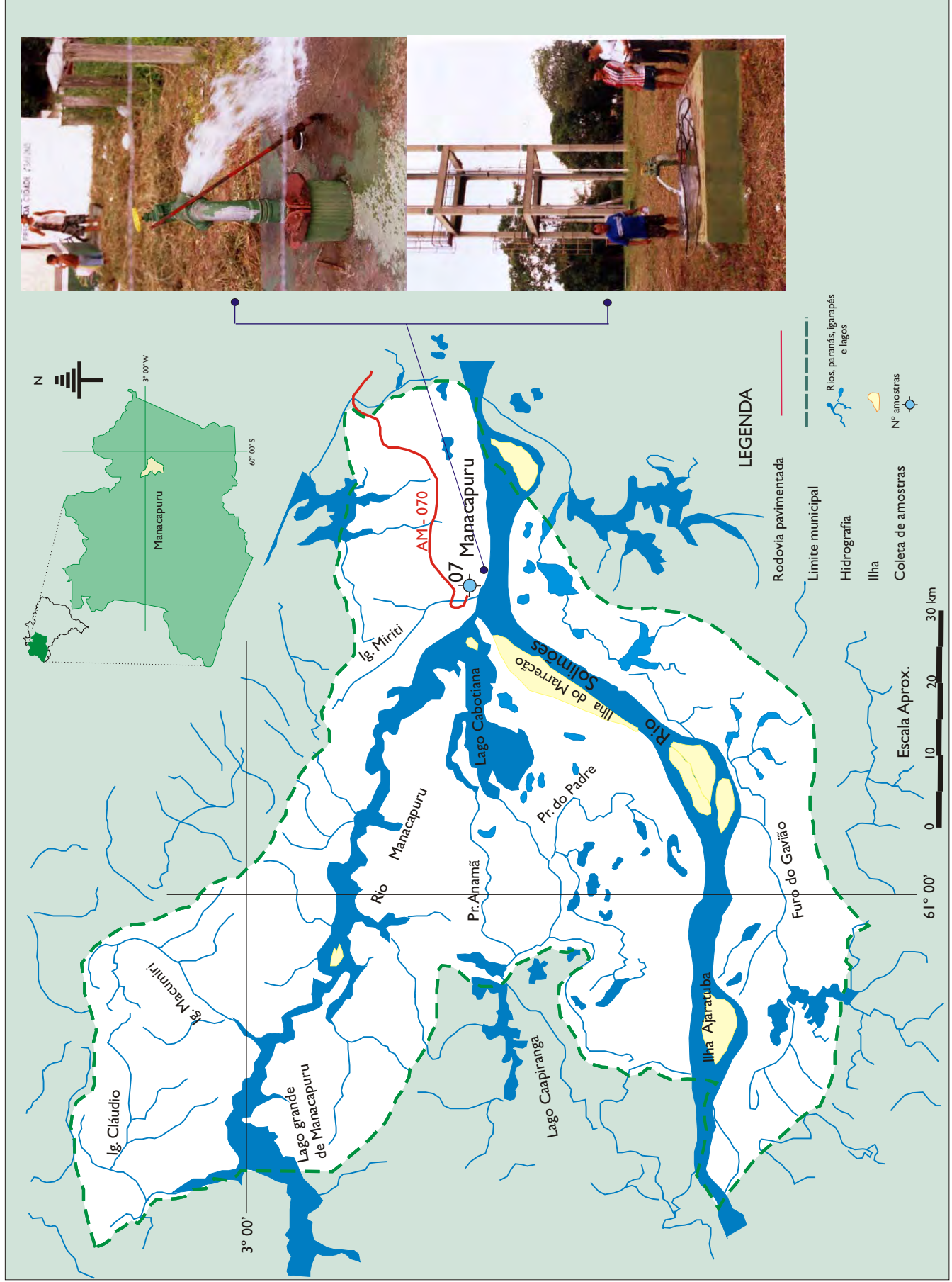


Figura 37. Mapa de localização do município de Manacapuru e poços amostrados.

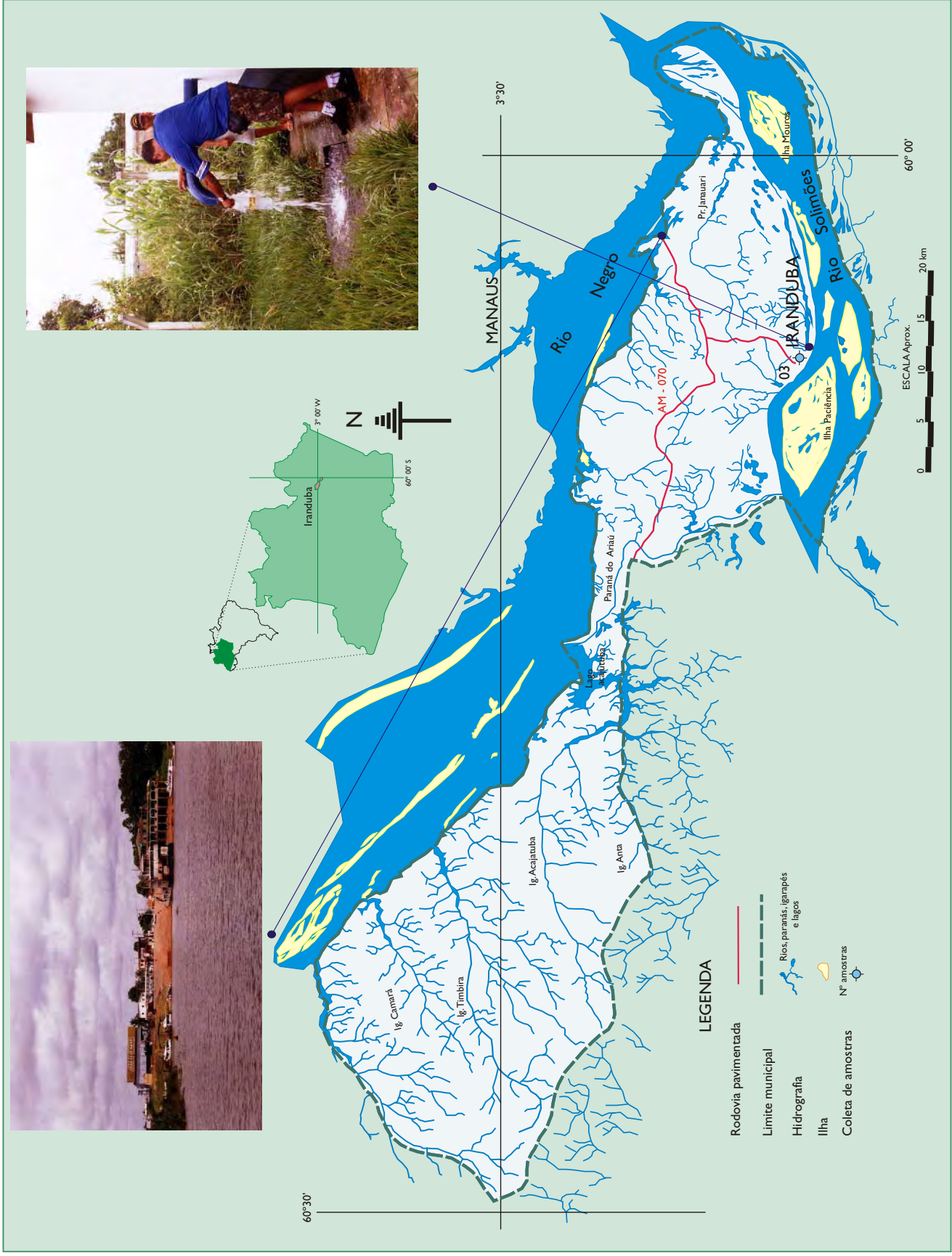


Figura 38. Mapa de localização do município de Iranduba e poços amostrados.

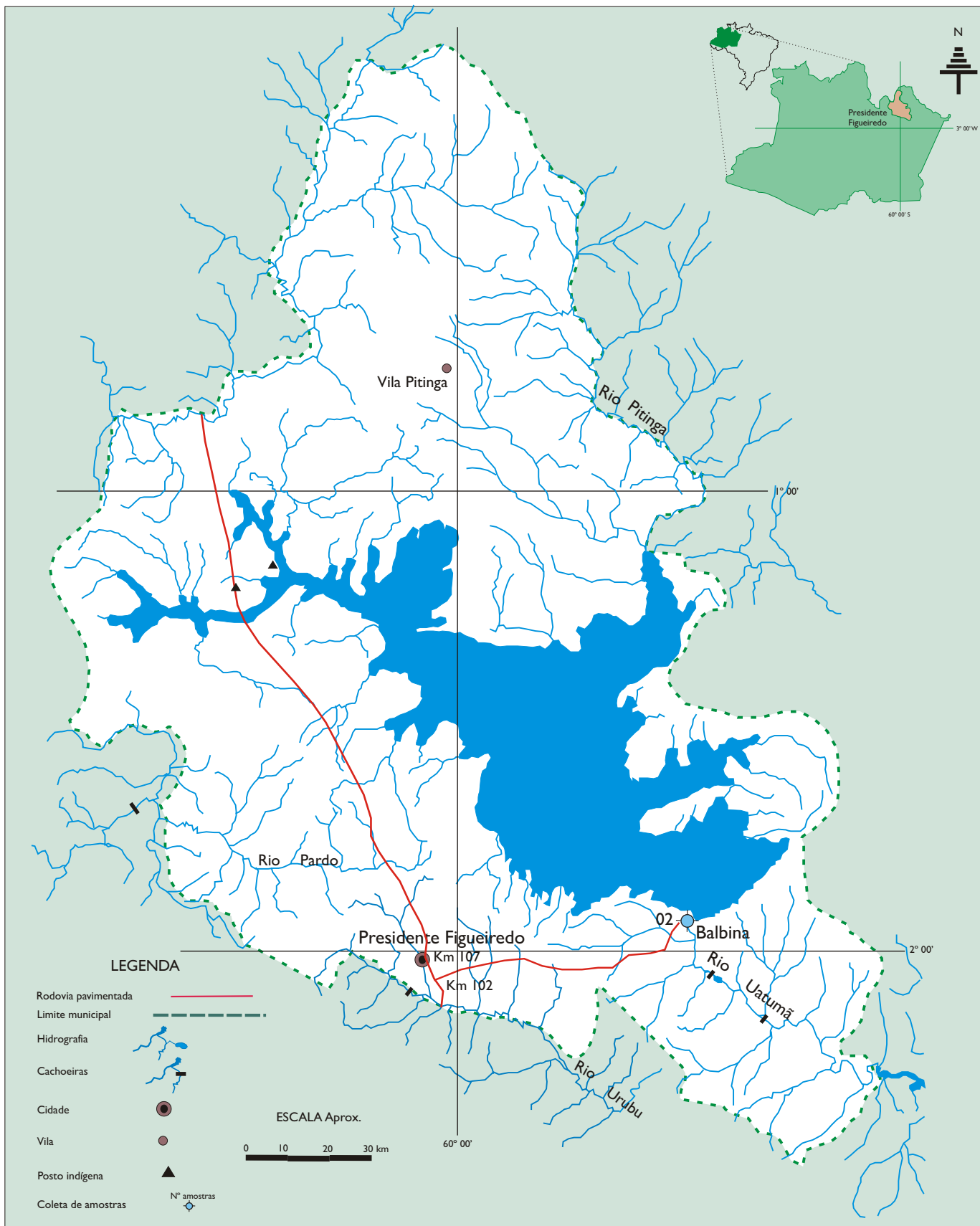


Figura 39. Mapa de localização do município de Presidente Figueiredo e poços amostrados.

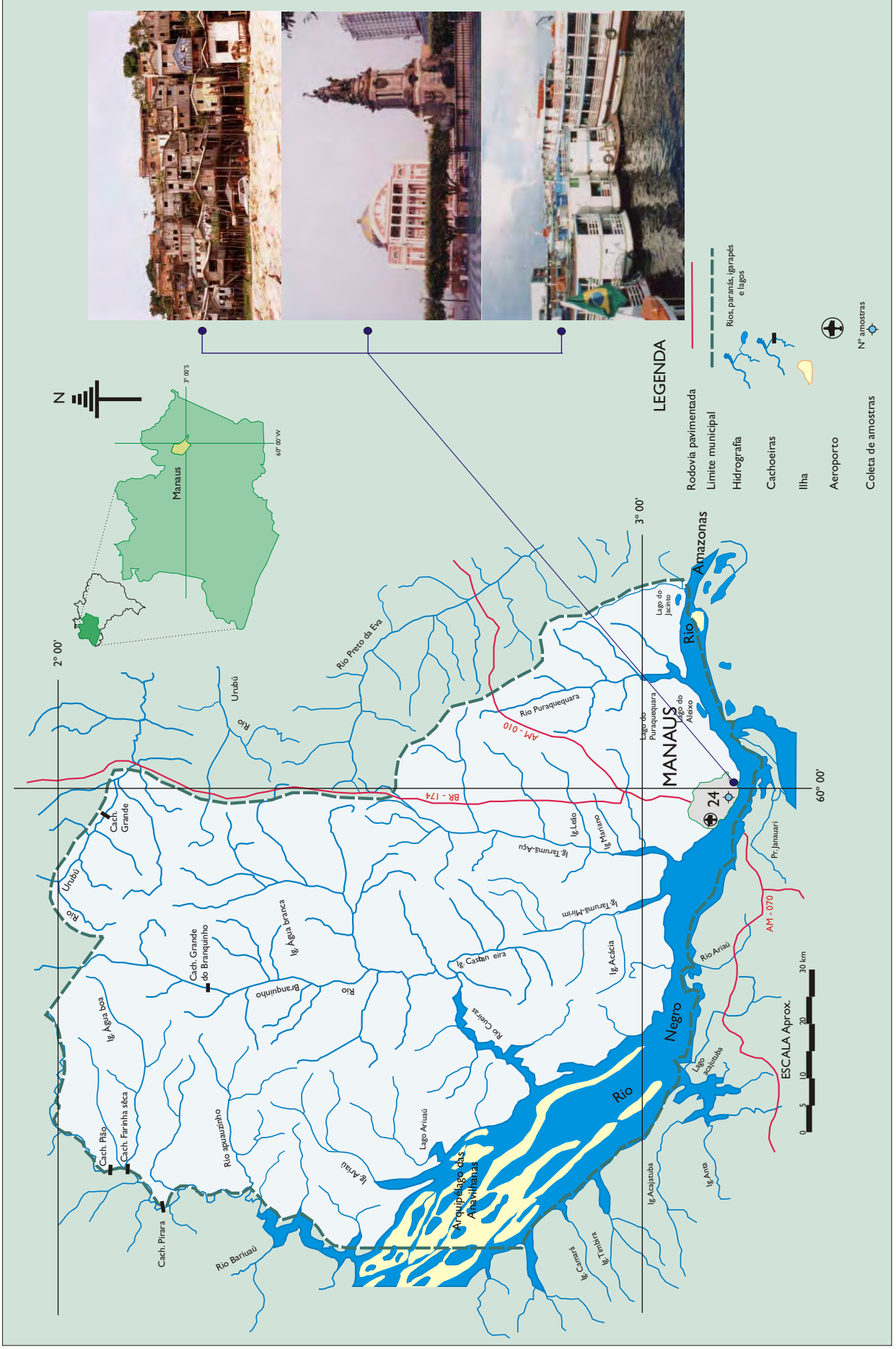


Figura 40. Mapa de localização do município de Manaus e poços amostrados.

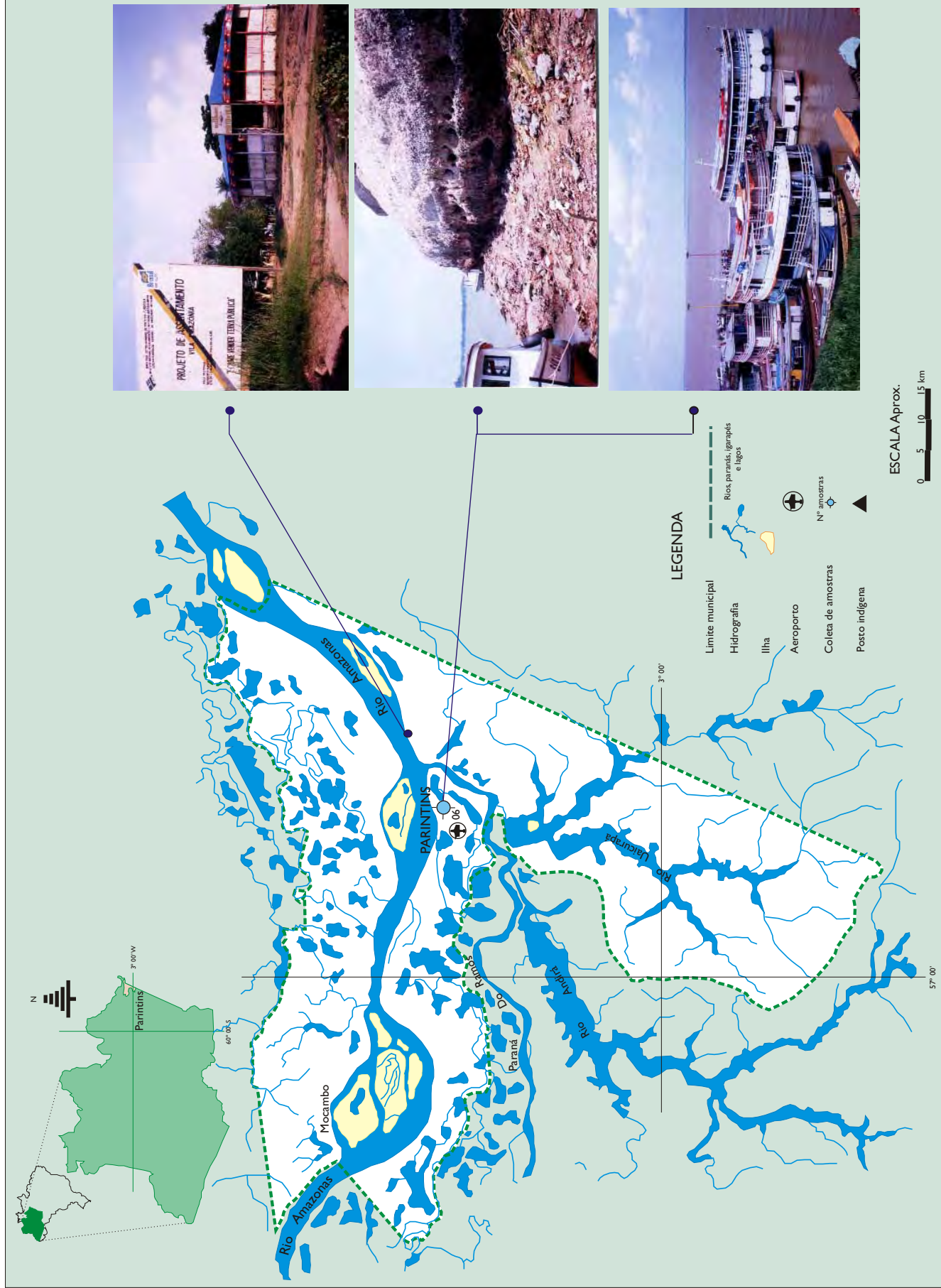


Figura 41. Mapa de localização do município de Parintins e poços amostrados.

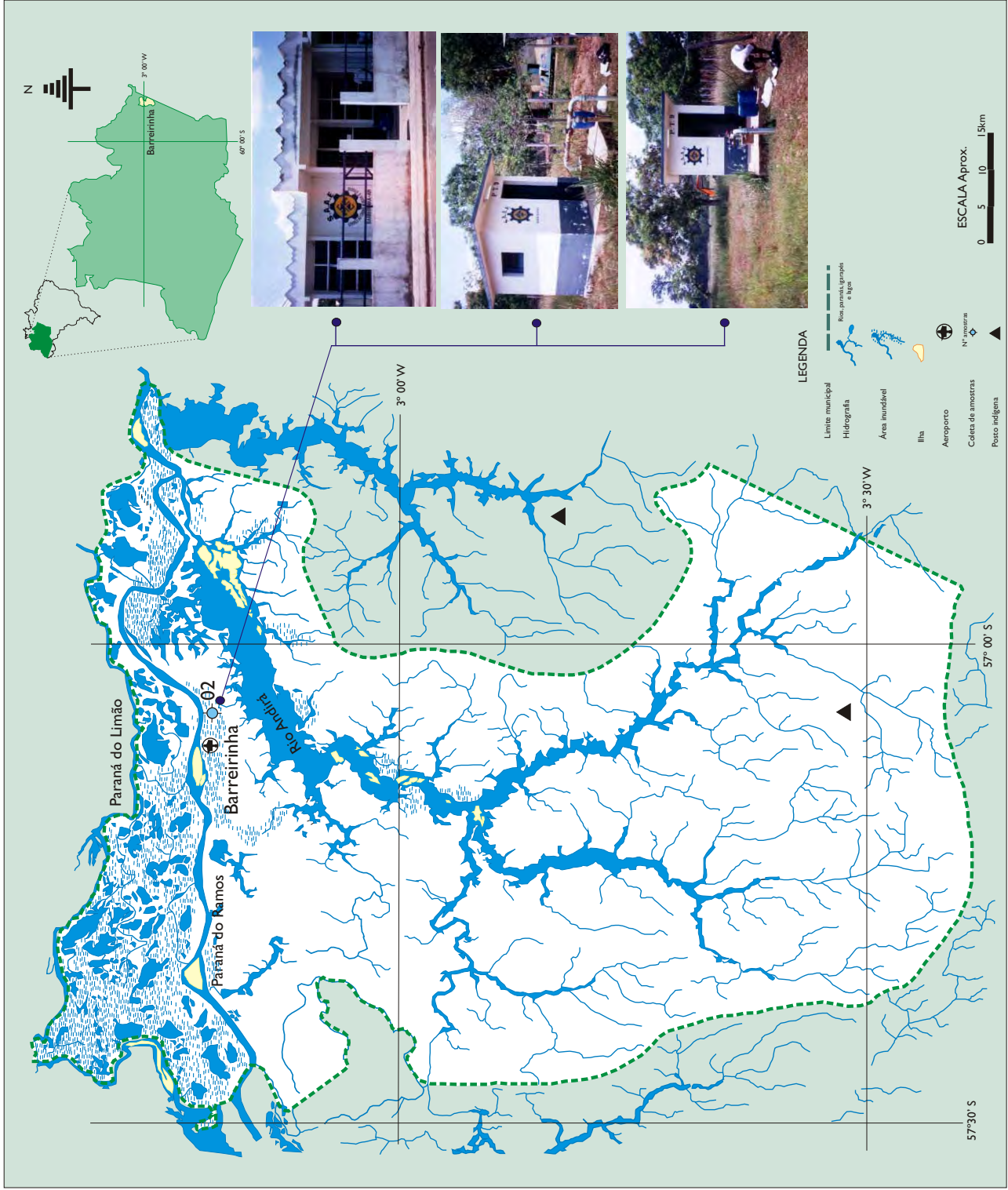


Figura 42. Mapa de localização do município de Barreirinha e poços amostrados.

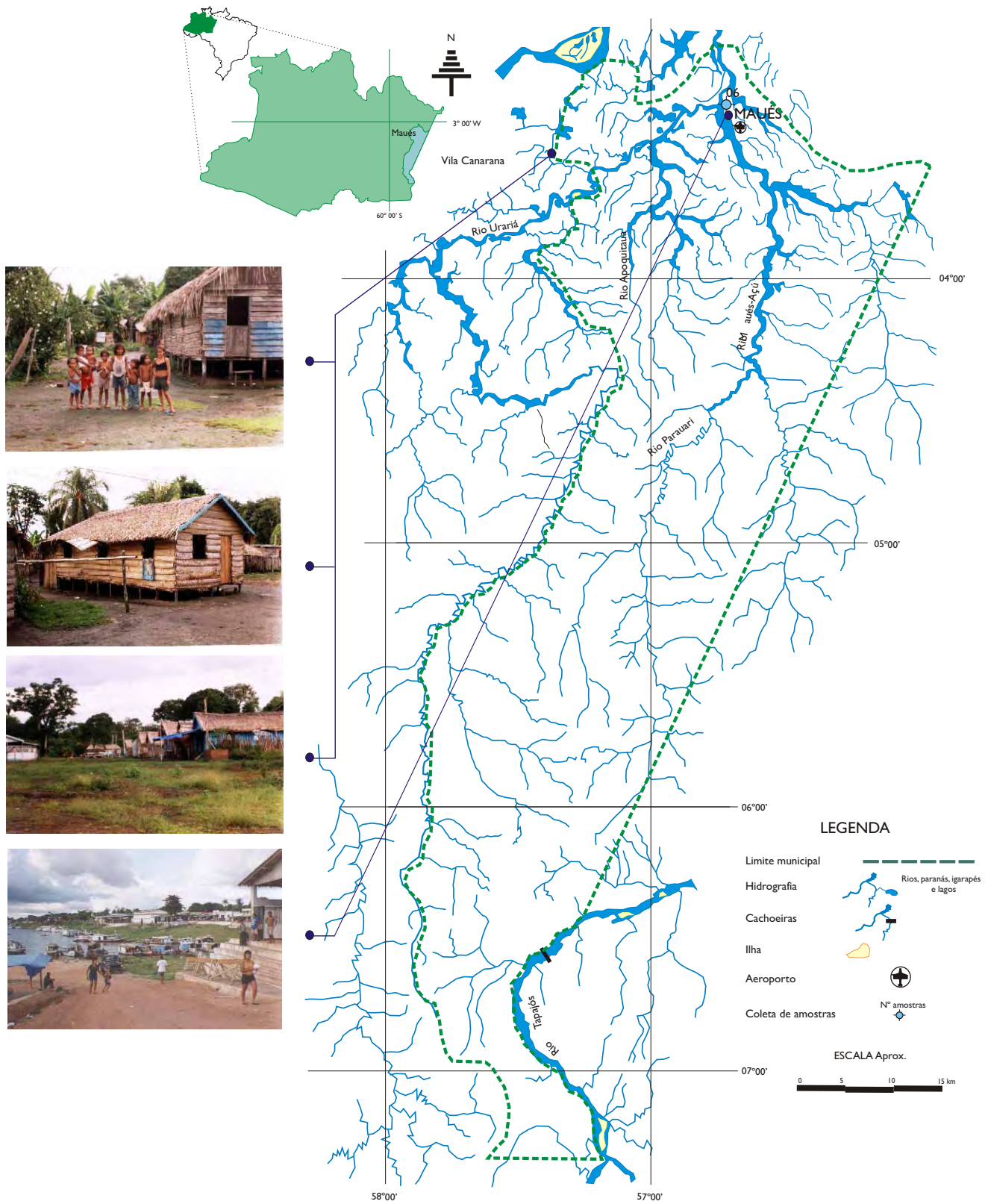


Figura 43. Mapa de localização do município de Maués e poços amostrados.

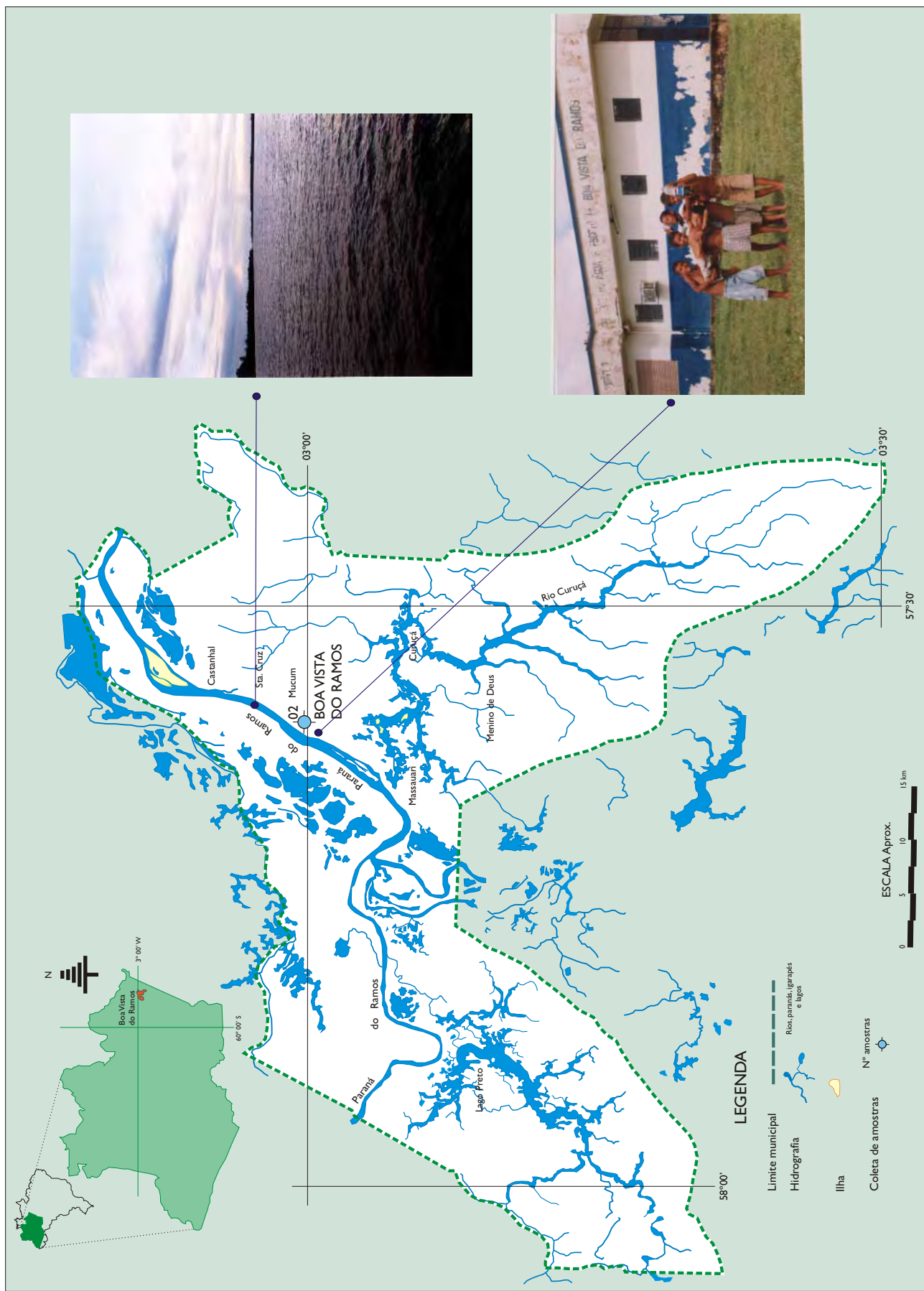


Figura 44. Mapa de localização do município de Boa Vista do Ramos e poços amostrados.

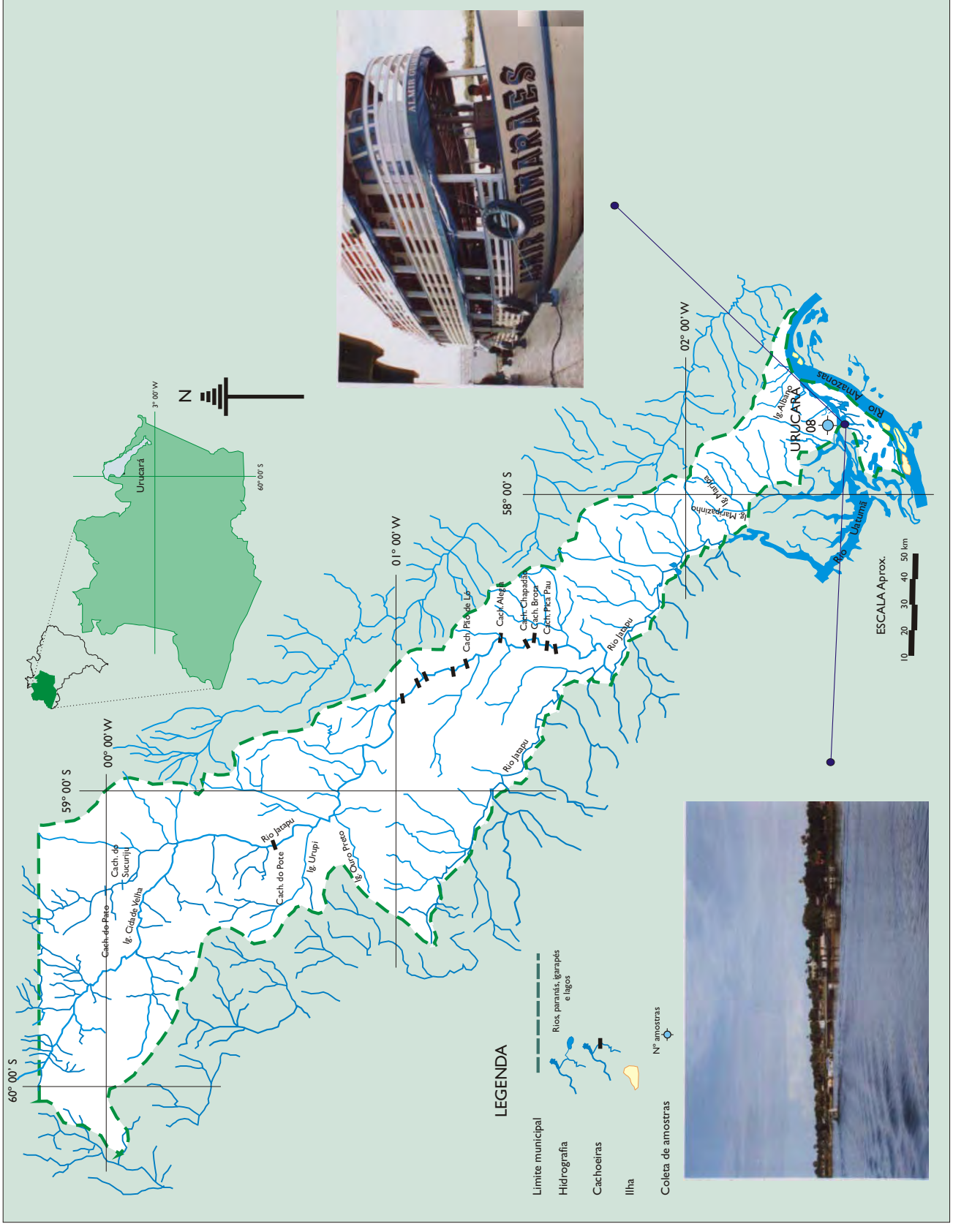


Figura 45. Mapa de localização do município de Urucará e poços amostrados.

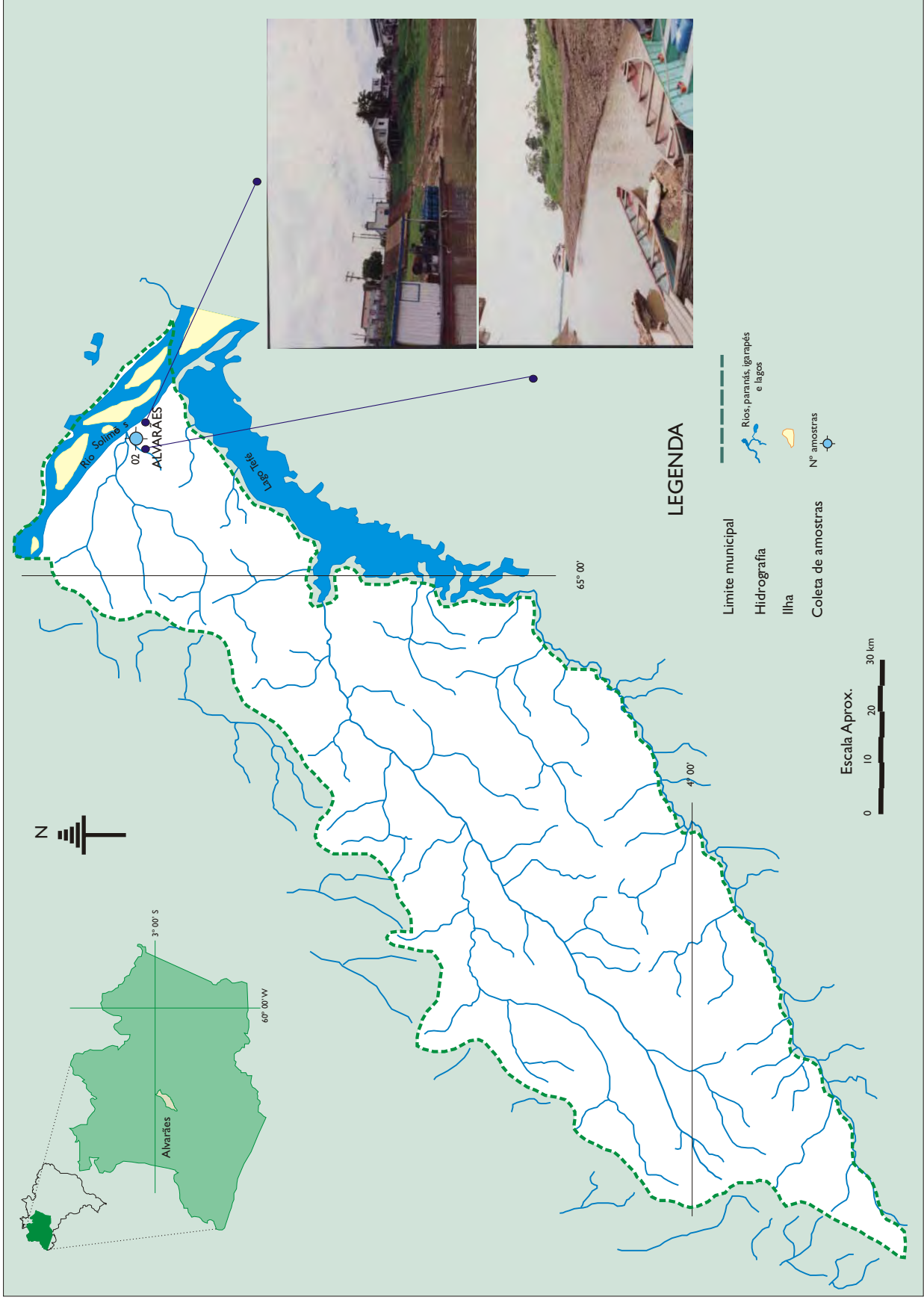


Figura 48. Mapa de localização do município de Alvarães e poços amostrados.

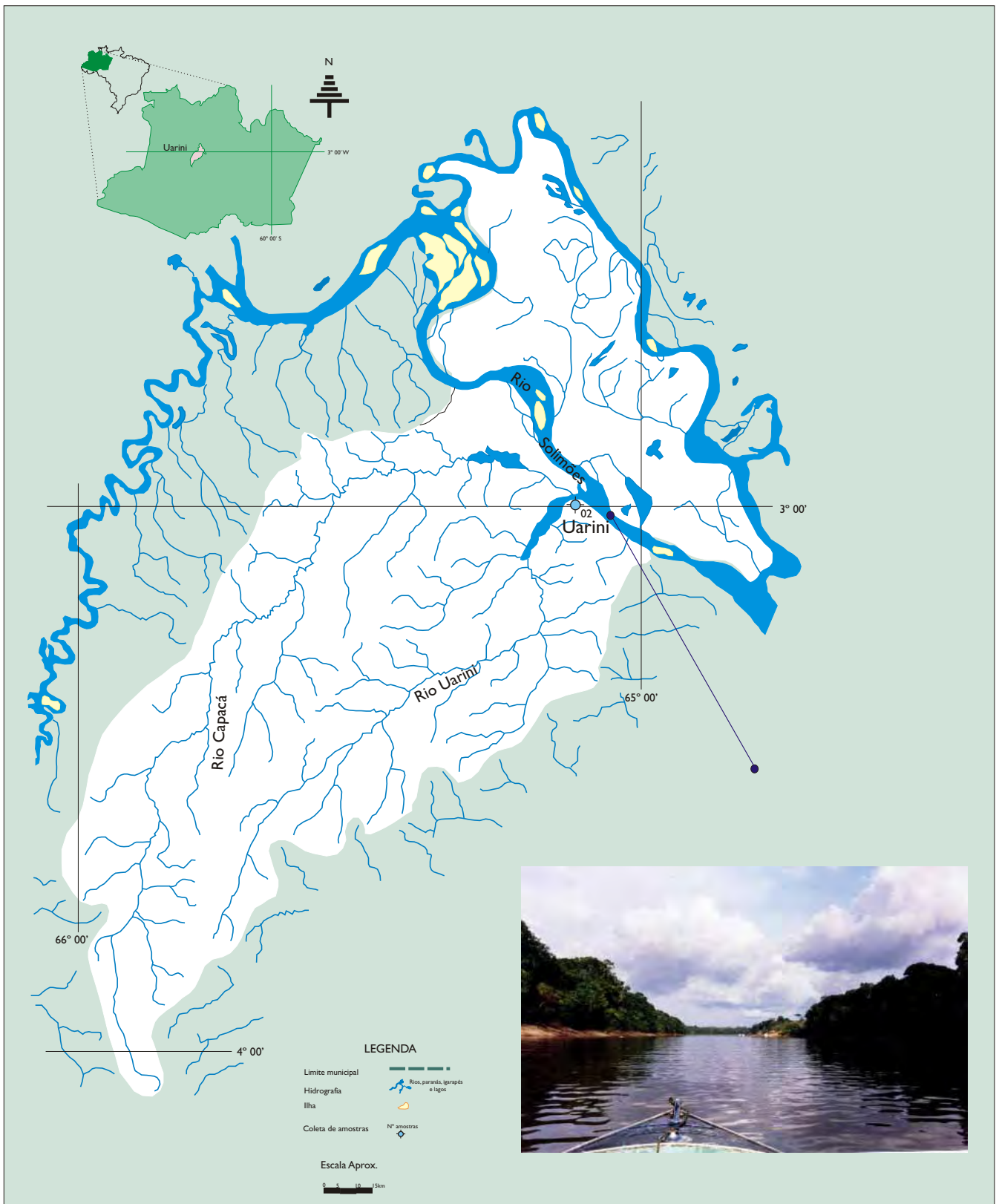


Figura 49. Mapa de localização do município de Uarini e poços amostrados.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Amostragem

As coletas de amostras para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas em poços tubulares de 15 cidades do estado do Amazonas, distribuídos numa distância maior que 942 km em linha reta, de Uarini a Barreirinha. A logística de amostragem está no anexo 2.

Os poços foram perfurados pela Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, CPRM-AM, empresas particulares de perfuração e pelo Serviço Autônomo de Águas Esgotos - SAAE.

A seleção dos poços, na cidade de Manaus, foi efetuada em conjunto com a CPRM-AM, em função de sua localização, acesso e funcionalidade. Nas cidades do interior do Estado, os poços foram selecionados *in locu* (na hora da coleta), pois não havia possibilidade de se saber quanto sua funcionalidade e acesso, por não haver meios de comunicação (a distância e o acesso nessa região é um fator a se levar em consideração) com os responsáveis pelos mesmos. Em muitos casos, a quantidade de amostras foi reduzida ou descartada (os poços não funcionam ou foram abandonados há anos).

No interior do Estado, geralmente, os poços abandonados são desprezados sem haver qualquer cuidado quanto à proteção do aquífero ou acidentes com pessoas ou animais.

As cidades selecionadas para coletas foram: Manaus, Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva, Itacoatiara, Parintins, Barreirinha, Maués, Urucará, São Sebastião do Uatumã, Boa Vista do Ramos, Tefé, Alvarães e Uarini.

No campo, as amostras foram coletadas no poço, através de seu bombeamento e para evitar contaminação pela tubulação, foi deixado em funcionamento por 10 minutos antes de ser efetuada a coleta das amostras e geralmente no período da manhã para que houvesse a possibilidade de aferição dos parâmetros químicos em Manaus (Figura 50).

Inicialmente, foi coletado, para cada amostra, um volume adicional de cinco litros de água para a aferição da temperatura com um termômetro de precisão de leitura de 0,1°C, o mais rápido possível, para evitar alteração no seu valor.

As coletas de amostras para análise hidroquímica foram realizadas em 82 poços tubulares, em duplicatas utilizando-se frascos de 2 litros e tampas de polietileno.

Todos os frascos novos e limpos foram previamente lavados, enxaguados várias vezes com a própria água a ser amostrada, cheios até a boca, identificados com etiquetas numeradas e em caderneta de campo. A amostragem foi cuidadosamente manuseada, para evitar contaminação.

Após a coleta, foram aferidos o pH e a temperatura e em seguida, as amostras foram levadas, imediatamente, ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA, para serem aferidos o Eh, a condutividade elétrica e as variáveis químicas referidos no Quadro 01.

Quanto à análise de urânio, esta foi realizada em laboratórios pertencentes ao Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP - Campus de Rio Claro – SP.

Para análise do teor de urânio e razão isotópica $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, as amostras foram coletadas em 63 poços utilizando-se frascos de polietileno com capacidade para 20 litros, pois se torna necessário o tratamento químico de grande volume de amostra, caso a concentração do elemento seja baixa (Bonotto, 1986).



Figura 50. Poço em funcionamento antes da coleta de amostra - vila Amazônia - Parintins - AM - 2001.

5.2 Procedimentos laboratoriais

5.2.1 Principais parâmetros físicos, químicos e físico-químicos

O pH foi aferido em campo, utilizando-se um medidor portátil da DIGIMED DM – PV e eletrodo DIGIMED AF - 065.

A condutividade elétrica foi aferida com um Condutivímetro digital, marca WTW, modelo LF 191.

A turbidez mediu-se por turbidimetria, através de turbidímetro modelo B250 e marca Micronal. Os valores são expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT).

Para a determinação do Eh, recorreu-se ao analisador digital Analion-Íon modelo IA601 ao qual foi acoplado um eletrodo (Analion, modelo 674) metálico de platina combinado, tendo sido obedecidas as seguintes etapas:

- As amostras e a solução de Zobell (solução contendo um par redox estável conhecido) foram expostas à temperatura ambiente durante 5 horas para que homogeneizassem as temperaturas, pois, Nordstrom apud Bonotto (1996) encontrou forte tendência linear entre essa variável (Eh) e a temperatura;

- Selecionou-se a escala do analisador em mV;

- Após a estabilização da temperatura das amostras e da solução de Zobell, introduziu-se o eletrodo de Pt na solução de Zobell, aferindo-se o Eh;

- Posteriormente, adicionou-se o potencial lido da solução de Zobell ao potencial do eletrodo de referência na respectiva temperatura e, em seguida, anotou-se a diferença entre o potencial resultante e o valor esperado para esta temperatura;

- Finalmente, aferiu-se os Eh's das amostras de água em estudo.

As metodologias utilizadas na avaliação dos parâmetros químicos, encontram-se, resumidamente, descritas no Quadro 01.

Quadro 01 - Metodologias para determinação hidroquímica das amostras coletadas

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

*APHA: American Public Health Association; FIA: Sistema de Injeção em Fluxo; EDTA: ácido etilenodiamino tetracético.

5.2.2 Urânio

A preparação das amostras para análise do urânio, baseou-se na metodologia descrita por Bonotto (1986) e obedeceu as seguintes etapas:

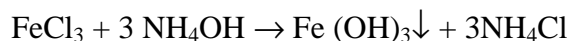
- Para dissolver o ferro, adicionou-se a cada amostra ácido clorídrico (HCl 8M) com intuito de baixar o pH a menor ou igual a 2, evitando assim, a precipitação do ferro no recipiente (Osmond & Cowart, 1976). A adição do ácido foi monitorada com um potenciômetro digital e, posteriormente, feita constante e vigorosa agitação para dissolução desse elemento;

- Adicionou-se 100µL do traçador (*spike*) ²³²U - ²²⁸Th, sendo a amostra vigorosamente agitada para difusão completa dos isótopos adicionados. O urânio ²³²U, utilizado neste trabalho, é um isótopo artificial empregado como *spike* no processo de extração do urânio natural nas águas;

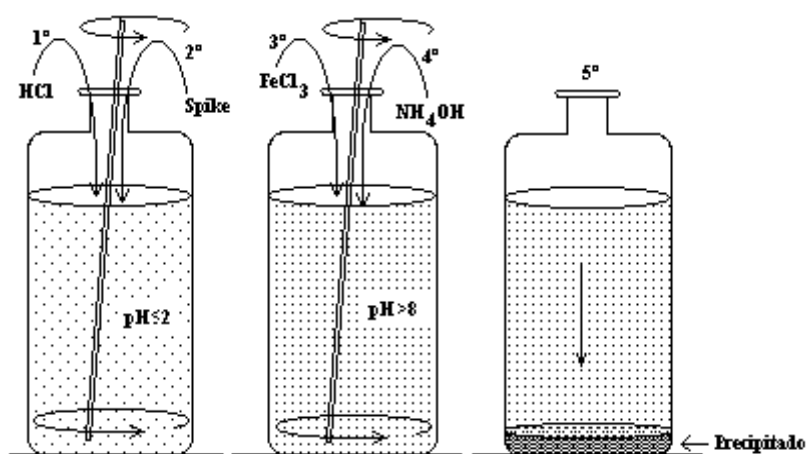
- Posteriormente, adicionou-se 1 mL de cloreto férrico (FeCl₃ . 6H₂O), efetuando-se constante e vigorosa agitação para dissolução desse composto;

- Em seguida, com o intuito de induzir a floculação do material, elevou-se o pH da amostra para a faixa de 8-10, pela adição de hidróxido de amônio (NH₄OH) monitorada com um potenciômetro digital e, posteriormente, efetuou-se constante e vigorosa agitação

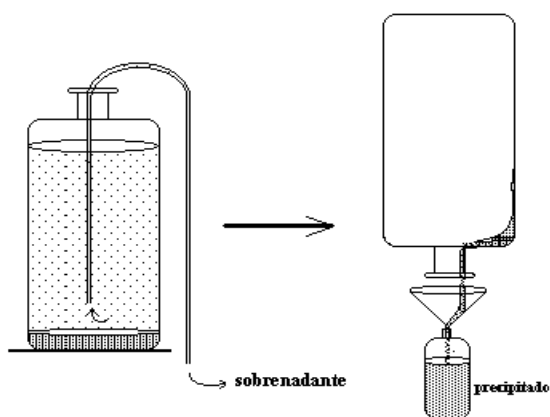
para dissolução desse composto. Nesse pH, o hidróxido férrico precipita de acordo com a equação:



As amostras foram deixadas em repouso para que houvesse a floculação e posterior decantação do precipitado, no qual, se encontra o urânio e outros elementos. O esquema a seguir ilustra os procedimentos anteriormente citados;



• Após a total precipitação, foi retirado e desprezado, cautelosamente, por via mecânica, o máximo de sobrenadante. O precipitado, mais o que sobrou do sobrenadante, foi transferido para frasco de 200 mL, novo e limpo, identificado com etiqueta numerada e lacrado. O esquema a seguir traduz o procedimento;



- A etapa seguinte foi acondicionar e transferir, via aérea, as amostras para extração do urânio no LABIDRO - Laboratório de Isótopos e Hidroquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP - Campus de Rio Claro, baseando-se na metodologia empregada por Bonotto (1986);

- No LABIDRO, recuperou-se o precipitado, centrifugando-o por 15 minutos numa rotação de 2000 rpm. Posteriormente, desprezou-se o sobrenadante e transferiu-se o precipitado para um béquer de 80 mL que acidificado com ácido clorídrico 8M, e acrescido de 4 gotas de HClO₄ foi, em seguida, levado a uma chapa aquecedora para ser evaporado e seco. Após a secagem, o material foi redissolvido com HCl 8M, para que ocorresse a conversão de diuranato de amônio para cloreto de uranila (Galkin apud Bonotto, 1982):

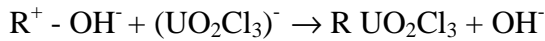
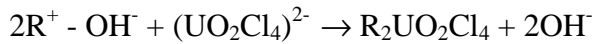


- Para separar o ferro do urânio e de outros elementos, efetuou-se extração com solvente orgânico (éter diisopropílico). O solvente foi adicionado em quantidade igual ao volume de solução existente (em torno de 20 mL) ao funil de separação. Nesta etapa, o solvente entra em contato com a fase inorgânica e o ferro é transferido para a fase etérea, após vigorosa agitação. Em seguida, descartou-se a fase etérea, estando o urânio na forma dos íons complexos (UO₂Cl₄)²⁻ e (UO₂Cl₃)⁻ e o ferro residual na forma de íons FeCl₄⁻ numa solução de HCl 8M. Para separar o urânio destes elementos tornou-se necessária a utilização de resina de troca iônica (Veselsky apud Bonotto, 1982);

- Quanto à preparação da coluna, esta foi feita mediante a adição de uma pequena porção de lã de quartzo no fundo da coluna (com diâmetro ao redor de 12 mm), 20 mL de resina trocadora de ânions da marca Rexyn 201 da *Fisher Scientific Company* com porosidade de 50 a 100 mesh, sob a forma iônica OH⁻ e capacidade total de troca de 1,4 mEq.mL⁻¹;

- Posteriormente, lavou-se a coluna com água destilada e adicionou-se HCl (8M) para acidificá-la e, de acordo com Edwards apud Bonotto (1982), controlou-se a velocidade da passagem do fluxo (20 gotas/min) pela torneira na coluna. Depois, descartou-se o ácido, deixando a resina totalmente embebida (úmida) (Bonotto, 1996);

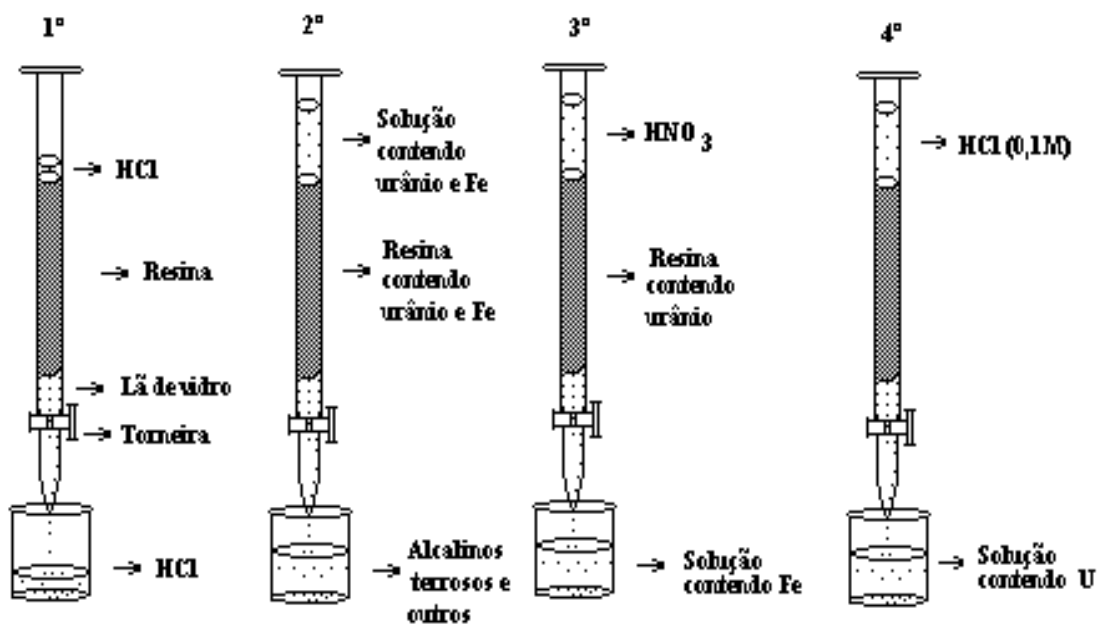
• Em seguida, transferiu-se a solução contendo urânio para a coluna, deixando-se passar para que a reação de troca aniônica ocorra com os íons complexos de cloreto de uranila:



Um trocador aniônico imerso em ácido clorídrico concentrado é um meio propício para o U^{6+} e Fe^{3+} formarem complexos aniônicos. A resina acidificada retém ferro e o urânio, e deixa passar os alcalinos terrosos e outros (Bonotto, 1996);

• A etapa seguinte é eluir a resina com HNO_3 (7M) para retirar o Fe^{3+} e deixar o urânio retido na resina;

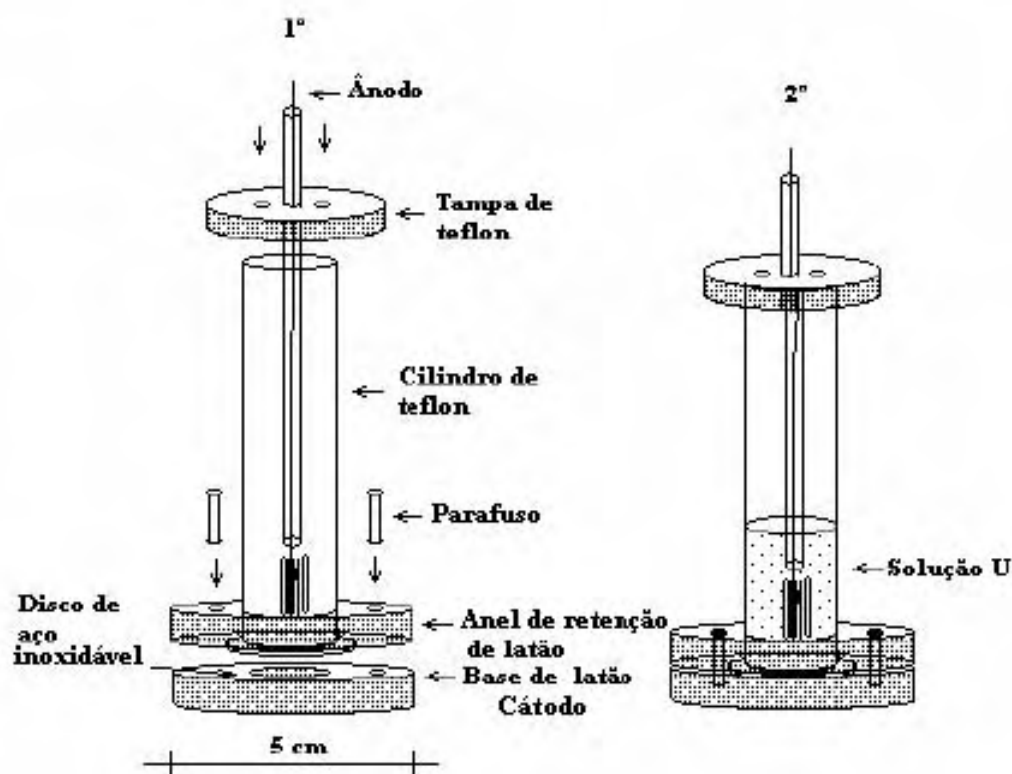
• A próxima etapa foi adicionar à coluna HCl (0,1M), pois os íons de cloreto de uranila ($UO_2Cl_4^{2-}$) não são estáveis em soluções muito diluídas de HCl (Veselsky apud Bonotto, 1982). Com isso, transferiu-se a solução resultante para uma chapa aquecedora para ser evaporada até a secagem (Bonotto, 1996). O esquema a seguir traduz os procedimentos anteriormente citados para a extração do urânio;



A determinação dos isótopos de urânio foi efetuada por espectrometria alfa, técnica que requer a utilização de fontes delgadas contendo o material extraído, preparadas a partir da deposição uniforme desse elemento (Bonotto, 1996).

- Para a eletrodeposição do urânio, adicionou-se 2,5 mL de H_2SO_4 (2M) ao resíduo seco e, em seguida, evaporou-se quase até a secagem, adicionando-se, então, 10 mL do eletrólito $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (2M). A seguir, a solução foi transferida para a célula de eletrodeposição, ajustando-se o pH para 2,4 através de H_2SO_4 e NH_4OH (2M) (Bonotto, 1996).

A célula de eletrodeposição consiste de um cilindro de teflon com uma flange, a qual é mantida fixa a um disco de aço inoxidável de 22,6 mm de diâmetro e 0,27 mm de espessura (cátodo) por três parafusos e um anel de latão. O ânodo consiste de um fio de platina de 1 mm de diâmetro, disposto num formato de um núcleo quase helicoidal com um diâmetro de 15 mm, conforme o esquema a seguir;



- Em seguida, submeteu-se a solução a uma corrente contínua constante de 300 mA, por 3 horas. Então, antes de desligar o circuito, adicionaram-se algumas gotas de

NH₄OH; em seguida, removeu-se o ânodo, lavou-se o disco com água destilada e efetuou-se sua secagem em lâmpada infra-vermelha (Bonotto, 1996).

- Após a secagem, os discos foram submetidos à espectrometria alfa.

5.2.2.1 Espectrometria alfa e calibração do sistema

Os discos foram analisados por intermédio de quatro detectores semicondutores de barreira de superfície de Si da ORTEC em câmaras de vácuo, acoplados a pré-amplificadores da ORTEC, Modelo 109A e ligados a amplificadores da ORTEC, Modelo 485. Ambos os amplificadores estão conectados a placas distintas da ORTEC, Modelo 916A, consistindo de conversor analógico digital, microprocessador Z80A e memória inseridos em computador do tipo IBM-PC. Os resultados foram obtidos e analisados pelo programa MAESTRO II da ORTEC.

Por permitir, para cada canal, um registro de um valor de energia correspondente, os dois sistemas utilizados foram calibrados por intermédio de um padrão de urânio preparado no *Centre de Faibles Radioactivités*, França, conforme descrito por Bonotto (1986). O padrão consiste numa mistura de urânio natural com atividade para ²³⁸U de 54,6 dpm e para ²³²U - ²²⁸Th (traçador) de 10 dpm - que geraram os espectrogramas, a partir dos quais foi possível construir as curvas de calibração energia vs. canal.

5.2.2.2 Teor de urânio dissolvido e razão de atividade (RA)

A obtenção do teor de urânio dissolvido nas águas analisadas foi efetuada com base no princípio de diluição isotópica, de acordo com o descrito por Bonotto (1986). Para a quantidade de traçador utilizada (3,39 dpm), é possível avaliar a concentração de urânio através da seguinte equação:

$$^{238}\text{U} (\mu\text{g/L ou ppb}) = 3,39/0,74V \cdot N_{238}/N_{232}$$

onde V é o volume de água utilizada na análise, N₂₃₈ é a taxa de contagem líquida no pico do ²³⁸U e N₂₃₂ é a taxa de contagem líquida no pico do ²³²U.

A razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (RA) é definida por meio da expressão:

$$RA = N_{234}/N_{238}$$

onde N_{234} é a taxa de contagem líquida no pico do ^{234}U e N_{238} é a taxa de contagem líquida no pico do ^{238}U .

A taxa de contagem da radiação de fundo, ou *background*, foi monitorada para cada sistema em uso, antes da realização da espectrometria de cada disco preparado.

O desvio padrão da razão de atividade (RA) foi obtido aplicando-se a relação: $(\sigma RA/RA)^2 = (\sigma A_{234}/A_{234})^2 + (\sigma A_{238}/A_{238})^2$, onde $\sigma^2 A_{234} = A_{234} + 2B_{234}$ e $\sigma^2 A_{238} = A_{238} + 2B_{238}$, sendo A_{234} e A_{238} as contagens líquidas nos picos do ^{234}U e ^{238}U , respectivamente, e B_{234} e B_{238} as contagens dos *backgrounds* (Tabelas 05 e 05a, anexo 1) nesses picos.

5.3 Características e classificação das águas

Para o agrupamento das águas com características similares, utilizou-se o diagrama semi-logarítmico de Schoeller (1962), onde as concentrações dos principais constituintes estão em unidades de miliequivalente grama por litro (mEq.L^{-1}) (Tabelas 03 e 03a, anexo 1). A finalidade do diagrama, é dar informação a respeito do fácies hidroquímico, classificar as águas quanto ao grau de potabilidade, bem como fazer comparações entre si.

De maneira a se classificar as águas analisadas quanto aos ânions e cátions dissolvidos, as concentrações (em mEq.L^{-1}) foram convertidas para valores percentuais, conforme representado nas tabela 04 e 04a, em anexo 1. Esses valores percentuais foram representados nos diagramas de Piper, para fins de classificação das águas analisadas.

Cowart & Osmond (1980) classificaram bidimensionalmente os sistemas de águas subterrâneas para a caracterização de zonas de acumulação, de acordo com a concentração de urânio e razão de atividade. Portanto, os valores encontrados foram devidamente trabalhados de acordo com esta classificação.

Os elementos que apresentarem algum tipo de correlação serão plotados usando suas coordenadas e de acordo com seus devidos valores, em miligrama por litro, foram construídos mapas de distribuição dos elementos em isovalores interpolados.

6. RESULTADOS

Os perfis litológicos dos poços amostrados nas cidades de Manacapuru, Iranduba, Manaus, Rio Preto da Eva, Itacoatiara, Boa Vista do Ramos, Maués, Barreirinha e Urucará são representativos da Formação Alter do Chão. As cidades de São Sebastião do Uatumã e Parintins estão sobre Terraços Aluvionares do Cenozóico. As cidades de Tefé, Alvarães e Uarini estão sobre sedimentos da Formação Solimões e Presidente Figueiredo sobre a Formação Nhamundá (Figura 12).

Em Manacapuru e Iranduba, houve considerável decréscimo na vazão dos poços em relação às demais cidades amostradas, sendo possivelmente resultado de pacotes mais argilosos nesses municípios e os perfis das cidades de Itacoatiara, Parintins, Boa Vista do Ramos, Maués, Barreirinha, São Sebastião do Uatumã e Urucará apresentam diversas lentes de concreções ferruginosas (Tabelas 01, 01a, 01b e 01c).

6.1 Itacoatiara

A profundidade dos poços amostrados variou de 31 m no poço nº 01 a 176 m no poço nº 03, tendo média de 136,28 m. Quanto aos perfis litológicos, nos poços variam de argila a areia grossa com, geralmente, uma camada de concreção ferruginosa no topo, chegando a 12 metros de espessura no poço nº 07. As médias para o nível estático (N.E.) e nível dinâmico (N.D.) foram de 10,13 m e 17,82 m, respectivamente. A vazão média foi de 86,28 m³/h (Tabela 01).

O valor médio da temperatura do ar no período de coleta foi de 30,78°C e o das águas amostradas de 29,71°C (Tabela 02).

Os valores de pH variaram de 3,5 a 5,1, caracterizando-as como águas ácidas, enquanto que o potencial de oxirredução (Eh) aferido variou de +30 mV a +46 mV, tendo como média +33,8 mV (Tabela 02). Estes valores de pH e Eh caracterizam as águas estudadas como de ambiente “reduzidor ácido” (Figura 51).

A condutividade elétrica variou de 76,2 µS.cm⁻¹ a 128,9 µS.cm⁻¹ com média igual a 98,24 µS.cm⁻¹ enquanto que a turbidez variou de 0,5 UNT a 1,6 UNT com média de 0,67 UNT (Tabela 02).

A alcalinidade teve média de 44,91 mg.L⁻¹. A dureza variou de 12,33 mg.L⁻¹ a 41,92 mg.L⁻¹ com média igual a 29,53 mg.L⁻¹ enquanto que o cálcio variou de 0,02 mg.L⁻¹ a 6,62 mg.L⁻¹

¹, tendo média igual a 4,01 mg.L⁻¹. A concentração de magnésio variou de 2,69 mg.L⁻¹ a 5,72 mg.L⁻¹ com média igual a 4,02 mg.L⁻¹ (Tabela 02). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de 3,2 mg.L⁻¹ a 12,9 mg.L⁻¹, tendo média de 7,13 mg.L⁻¹ e a de potássio variou de 3,2 mg.L⁻¹ a 19,7 mg.L⁻¹, tendo média igual a 12,96 mg.L⁻¹. O cloro variou de 0,99 mg.L⁻¹ a 1,35 mg.L⁻¹ e teve média de 1,15 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

O valor de fosfato foi de menor que 0,001 mg.L⁻¹ a 0,232 mg.L⁻¹, tendo média de 0,110 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

A concentração de sulfato foi praticamente homogênea, com valores abaixo de 1,0 mg.L⁻¹, tendo apenas o poço nº 2 apresentado valor de 1,89 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

O valor de nitrito foi abaixo de 0,005 mg.L⁻¹, para todas as amostras e o de nitrato variou de 0,010 mg.L⁻¹ a 3,491 mg.L⁻¹, tendo média de 0,620 mg.L⁻¹ enquanto que o de amônia foi menor que 0,1 mg.L⁻¹ para todas as águas amostradas (Tabela 02).

O ferro total variou de 0,012 mg.L⁻¹ a 0,123 mg.L⁻¹, tendo como média 0,06 mg.L⁻¹ enquanto que o ferro dissolvido apresentou valor menor que 0,005 mg.L⁻¹ para todas as amostras (Tabela 02).

Quanto ao urânio dissolvido, esse variou de 0,04 µg.L⁻¹ a 1,36 µg.L⁻¹, tendo como média 0,32 µg.L⁻¹, enquanto que a RA variou de 1,13±0,12 a 2,14±0,05, tendo como média 1,64±0,09 (Tabela 05 - Anexo).

6.2 Rio Preto da Eva

A profundidade do poço amostrado foi de 72,00 m com N.E. e N.D. de 17,65 m e 49,55 m, respectivamente com o perfil litológico variando de argila a areia média. A vazão foi de 8,50 m³/h (Tabela 01).

O valor da temperatura do ar no período de coleta foi de 28,5°C e o da água amostrada de 29,0°C (Tabela 02).

O valor de pH foi de 3,7, caracterizando-a como água ácida, enquanto que o Eh foi de +35 mV (Tabela 02). Valores que caracterizam a água estudada como de ambiente “reduzidor ácido” (Figura 51).

A condutividade elétrica foi de 66,10 µS.cm⁻¹ e a turbidez de 0,6 UNT enquanto que o valor de alcalinidade ficou abaixo do limite de detecção (Tabela 02).

A dureza foi de 14,73 mg.L⁻¹, o cálcio de 0,43 mg.L⁻¹ e a concentração de magnésio de 2,96 mg.L⁻¹ (Tabela 02). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essa água é do tipo “mole”.

A concentração de sódio foi de 4,2 mg.L⁻¹ enquanto que a de potássio foi de 1,3 mg.L⁻¹. O cloro foi de 1,28 mg.L⁻¹ e o sulfato foi abaixo de 1,0 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

O fosfato foi de 0,110 mg.L⁻¹ enquanto que a concentração de nitrito foi abaixo de 0,005 mg.L⁻¹ e a de nitrato de 0,171 mg.L⁻¹. A amônia foi menor que 0,1 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

O ferro total e o ferro dissolvido apresentaram valores menores que 0,005 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

Nessa cidade, a concentração de urânio dissolvido foi de 0,05 µg.L⁻¹ e a RA foi de 1,45±0,09 (Tabela 05- Anexo).

6.3 Manacapuru

A profundidade dos poços amostrados variou de 95,00 m no poço nº 10 a 120,00 m no poço nº 13, tendo média de 103,57 m. As médias para o N.E. e o N.D. foram de 18,35 m e 56,58 m, respectivamente. A vazão média foi de 13,41 m³/h. Quanto a litologia, variou de argila a areia grossa (Tabela 01).

O valor médio da temperatura do ar foi de 27,57°C e o das águas amostradas de 28,79°C (Tabela 02).

Os valores de pH variaram de 3,9 a 5,8, caracterizando-as como águas ácidas, enquanto que o Eh variou de +23 mV a +41 mV, tendo média igual a +29,86 mV (Tabela 02). Valores que caracterizam as águas estudadas como de ambiente “reduzidor ácido” (Figura 51).

A condutividade elétrica variou de 3,86 µS.cm⁻¹ a 109,2 µS.cm⁻¹ com média igual a 53,49 µS.cm⁻¹. A turbidez variou de 0,3 UNT a 32,0 UNT no poço nº 15, com média de 0,43 UNT (Tabela 02).

A alcalinidade teve média de 25,62 mg.L⁻¹. A dureza variou de 5,16 mg.L⁻¹ a 44,81 mg.L⁻¹, com média igual a 20,73 mg.L⁻¹ enquanto que o cálcio variou 0,67 mg.L⁻¹ a 5,73 mg.L⁻¹, tendo média igual a 3,03 mg.L⁻¹. A concentração de magnésio variou de 0,71 mg.L⁻¹ a 4,80 mg.L⁻¹, com média igual a 2,26 mg.L⁻¹ (Tabela 02). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

O sódio variou de 0,5 mg.L⁻¹ a 1,9 mg.L⁻¹, tendo média igual a 1,29 mg.L⁻¹ enquanto que o potássio variou de 0,9 mg.L⁻¹ a 14,5 mg.L⁻¹, tendo média de 8,80 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

O cloro variou de 0,85 mg.L⁻¹ a 1,49 mg.L⁻¹ com média de 1,21 mg.L⁻¹. O fosfato variou de 0,001 mg.L⁻¹ a 0,014 mg.L⁻¹ enquanto que a concentração de sulfato foi abaixo de 1,0 mg.L⁻¹, para todos os poços amostrados (Tabela 02).

O valor de nitrito foi abaixo de 0,005 mg.L⁻¹, para todas as amostras e o de nitrato variou de 0,067 mg.L⁻¹ a 0,658 mg.L⁻¹, tendo média de 0,35 mg.L⁻¹ enquanto que o de amônia foi menor que 0,1 mg.L⁻¹ para todas as águas amostradas (Tabela 02).

O ferro total e o ferro dissolvido apresentaram valores menores que 0,005 mg.L⁻¹ para quase todas as amostras, com exceção do poço nº 15, que apresentou valores de ferro total e o ferro de 0,072 mg.L⁻¹ e 0,016 mg.L⁻¹, respectivamente (Tabela 02).

O urânio dissolvido variou de 0,07 µg.L⁻¹ a 0,50 µg.L⁻¹, tendo como média 0,25 µg.L⁻¹, enquanto que a RA variou de 1,00±0,07 a 1,44±0,10, tendo como média 1,21±0,09 (Tabela 05- Anexo).

6.4 Iranduba

Os poços amostrados apresentaram profundidades de 57,70 m no poço nº 18 a 116,00 m no poço nº 16, com média de 77,56 m. As médias para o N.E. e N.D. foram de 18,66 m e 42,83 m, respectivamente. A vazão média foi de 4,28 m³/h e a litologia variou de argila a um arenoargilito (Tabela 01).

A média da temperatura do ar e das águas no período de coleta foram de 29,50°C e 28,50°C, respectivamente. O pH variou de 4,1 a 4,6 enquanto que o Eh variou de +28 mV a +82 mV, tendo como média +33,8 mV (Tabela 02), caracterizando as águas amostradas como de ambiente “reduzidor ácido” (Figura 51).

A condutividade elétrica variou de 22,1 µS.cm⁻¹ a 66,3 µS/cm com média igual a 49,60 µS.cm⁻¹ enquanto que a turbidez variou de 0,2 a 1,7 UNT com média de 0,73 UNT (Tabela 02).

A alcalinidade apresentou média de 2,30 mg.L⁻¹. A dureza variou de 6,18 mg.L⁻¹ a 7,38 mg.L⁻¹ com média de 6,72 mg.L⁻¹ enquanto que o cálcio variou 0,88 mg.L⁻¹ a 1,37 mg.L⁻¹, tendo média igual a 1,12 mg.L⁻¹. O magnésio variou de 0,53 mg.L⁻¹ a 0,98 mg.L⁻¹ com média igual a 0,81 mg.L⁻¹ (Tabela 02). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de 1,0 mg.L⁻¹ a 7,3 mg.L⁻¹, tendo média igual a 5,13 mg.L⁻¹ e a de potássio variou de 0,2 mg.L⁻¹ a 2,8 mg.L⁻¹, tendo média igual a 1,37 mg.L⁻¹. O cloro variou de 1,20 mg.L⁻¹ a 7,1 mg.L⁻¹ com média de 4,62 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

As concentrações de fosfato e sulfato foram de 0,001 mg.L⁻¹ e 1,0 mg.L⁻¹, respectivamente, para todas as amostras coletadas (Tabela 02).

O valor de nitrito foi abaixo de 0,005 mg.L⁻¹, para todas as amostras. O de nitrato variou de 0,77 mg.L⁻¹ a 3,66 mg.L⁻¹, tendo média de 1,75 mg.L⁻¹ enquanto que o de amônia foi menor que 0,1 mg.L⁻¹ para todas as águas amostradas. Tanto o ferro total quanto o ferro dissolvido apresentaram valores menores que 0,005 mg.L⁻¹ para todas as amostras (Tabela 02).

A concentração de urânio dissolvido variou de 0,01 µg.L⁻¹ a 0,91 µg.L⁻¹, tendo como média 0,32 µg.L⁻¹, enquanto que a RA variou de 1,00±0,07 a 3,53±0,12, tendo como média 1,93±0,08 (Tabela 05- Anexo).

6.5 Presidente Figueiredo

A profundidade média dos poços amostrados foi de 95,00 m. O nível estático variou de 2,20 a 3,70 m e nível dinâmico de 38,00 m a 46,12 m. A vazão média foi de 29,05 m³/h. O perfil litológico variou de argila (com pacote chegando a 48 m) a areia média (Tabela 01). O valor médio da temperatura do ar no período de coleta foi de 32,0°C e o das águas amostradas de 27,0°C (Tabela 02).

Os valores de pH variaram de 3,7 a 3,9, caracterizando-as como águas ácidas, enquanto que o Eh aferido variou de +67 mV a +71 mV (Tabela 02). Estes valores de pH e Eh caracterizam as águas estudadas como de ambiente “redutor ácido” (Figura 51).

A condutividade elétrica variou de 17,78 µS.cm⁻¹ a 16,98 µS.cm⁻¹ enquanto que a turbidez variou de 0,5 UNT a 2,4 UNT (Tabela 02).

O valor da alcalinidade foi abaixo do limite de detecção do método utilizado. A dureza variou de 1,157 mg.L⁻¹ a 1,246 mg.L⁻¹ enquanto que o cálcio variou de 0,096 mg.L⁻¹ a 0,224 mg.L⁻¹. A concentração de magnésio variou de 0,136 mg.L⁻¹ a 0,194 mg.L⁻¹ (Tabela 02). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de 1,0 mg.L⁻¹ a 2,0 mg.L⁻¹, a de potássio de 0,3 mg.L⁻¹ a 0,6 mg.L⁻¹ enquanto que o cloro de 0,781 mg.L⁻¹ a 0,994 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

O fosfato variou de 0,025 mg.L⁻¹ a 0,133 mg.L⁻¹ e o sulfato apresentou valores abaixo de 1,0 mg.L⁻¹ (Tabela 02).

O valor de nitrito foi abaixo de $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$, para todas as amostras e o de nitrato variou de $0,406 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,470 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o de amônia foi menor que $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para todas as águas amostradas (Tabela 02).

O ferro total variou de menor que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,326 \text{ mg.L}^{-1}$ e o ferro dissolvido apresentou valores menores que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ para todas as amostras. A sílica dissolvida variou de $6,638 \text{ mg.L}^{-1}$ a $8,095 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02).

A concentração de urânio dissolvido variou de $0,04 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ a $0,05 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto que a RA variou de $1,04 \pm 0,07$ a $1,20 \pm 0,08$ (Tabela 05 - Anexo).

6.6 Manaus

De acordo com as características hidrogeológicas dos 24 poços amostrados, todos extraem água da Formação Alter do Chão. Os perfis litológicos dos poços analisados mostram que o aquífero varia de livre a semiconfinado por camadas de argila e pelo Arenito Manaus. Os perfis mostram estratos de argila, areia média, areia fina, areia grossa, Arenito Manaus e concreções ferruginosas (Tabela 01a).

A altitude da área variou de 15,00 m a 100,00 m. A direção do fluxo da água subterrânea diverge, preferencialmente, da porção Noroeste, onde os poços nº 30, 38 e 42 têm o nível hidrostático mais elevado, com relação à topografia da área de estudo (Tabela 01a e Figura 71).

A profundidade dos poços amostrados variou de 54,00 m a 228,00 m, tendo média de 128,88 m. O N.E. variou de 0,00 m a 72,30 m com média de 39,44 m, enquanto que o N.D. variou de 23,49 m a 116,00 m com média de 65,47 m. A média das vazões foi de $46,60 \text{ m}^3/\text{h}$.

O valor médio da temperatura do ar no período de coleta foi de $28,79^\circ\text{C}$ e o das águas amostradas de $27,40^\circ\text{C}$ (Tabela 02).

O pH variou de 3,8 a 5,7, caracterizando-as como águas ácidas, enquanto que o Eh variou de +58 mV a +84 mV, tendo como média +75,75 mV (Tabela 02). Estes valores de pH e Eh caracterizam as águas estudadas como de ambiente “reduzidor ácido” (Figura 51).

A condutividade elétrica variou de $10,22 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ a $119,80 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ com média igual a $34,04 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ enquanto que a turbidez variou de 0,2 UNT a 4,5 UNT com média de 0,66 UNT. A valor médio de alcalinidade foi de $6,05 \text{ mg.L}^{-1}$. A dureza variou de $0,89 \text{ mg.L}^{-1}$ a $25,09 \text{ mg.L}^{-1}$ com média de $4,79 \text{ mg.L}^{-1}$. O cálcio variou $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ a $6,55 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média igual a $0,78 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que a concentração de magnésio variou de $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,31 \text{ mg.L}^{-1}$ com média

igual a $0,59 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ a $36,5 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média de $3,20 \text{ mg.L}^{-1}$ e a de potássio de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ a $10,4 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média igual a $4,80 \text{ mg.L}^{-1}$. O cloro variou de $0,92 \text{ mg.L}^{-1}$ a $9,72 \text{ mg.L}^{-1}$ e média de $2,02 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02).

O fosfato apresentou valores menores que $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,022 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média de $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de sulfato foi homogênea, com valores abaixo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02).

O valor médio de nitrito foi de menor que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ e o de nitrato variou de $0,022 \text{ mg.L}^{-1}$ a $3,14 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média de $0,43 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o de amônia foi menor que $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para praticamente todas as amostras, com exceção da amostra nº 29 que apresentou valor de $1,29 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02).

O ferro total variou de menor que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,629 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo como média $0,054 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o ferro dissolvido variou de menor que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,047 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média igual a $0,012 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de sílica variou de $5,027 \text{ mg.L}^{-1}$ a $20,123 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02).

Nessa cidade, a concentração de urânio dissolvido variou de $0,01 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ a $0,20 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, tendo como média $0,08 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto que a RA variou de $1,00 \pm 0,07$ a $3,06 \pm 0,08$, tendo como média $2,00 \pm 0,07$ (Tabela 05 - Anexo).

6.7 Parintins

A profundidade dos poços amostrados variou de 58,00 m a 86,00 m, tendo média de 66,33 m. O N.E. variou de 4,50 m a 13,00 m com média de 8,40 m, enquanto que o N.D. foi adquirido apenas para os poços nº 49 e 45 de 22,00 m e 20,00 m, respectivamente. A média das vazões foi de $78,20 \text{ m}^3/\text{h}$, adquirida apenas para os poços nº 47, 48, 49 e 50. Os perfis litológicos mostram estratos de argila, areia com concreção ferruginosa a areia grossa (Tabela 01b).

O valor médio da temperatura do ar no período de coleta foi de $32,33^\circ\text{C}$ e o das águas amostradas de $29,00^\circ\text{C}$ (Tabela 02a).

O pH variou de 3,0 a 4,0, caracterizando-as como águas ácidas. A condutividade elétrica variou de $21,60 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ a $264,00 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ enquanto que a turbidez variou de 0,2 UNT a 0,3 UNT com média de 0,23 UNT (Tabela 02a).

A valor da alcalinidade foi abaixo do limite de detecção do método utilizado. A dureza variou de 20,25 mg.L⁻¹ a 2,54 mg.L⁻¹ e o cálcio de 0,19 mg.L⁻¹ a 4,39 mg.L⁻¹, enquanto que a concentração de magnésio variou de 0,22 mg.L⁻¹ a 1,76 mg.L⁻¹ (Tabela 02a). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de 1,3 mg.L⁻¹ a 17,3 mg.L⁻¹, a de potássio de 0,2 mg.L⁻¹ a 7,0 mg.L⁻¹ e a de cloro de 1,56 mg.L⁻¹ a 24,07 mg.L⁻¹ (Tabela 02a).

O fosfato e o sulfato apresentaram valores menores que 0,001 mg.L⁻¹ e 1,0 mg.L⁻¹, respectivamente, para todas as amostras adquiridas (Tabela 02a).

O valor de nitrito foi menor que 0,005 mg.L⁻¹ para todos os poços amostrados. O valor de nitrato variou de 0,584 mg.L⁻¹ a 12,546 mg.L⁻¹ e o de amônia foi menor que 0,1 mg.L⁻¹ para praticamente todas as amostras, com exceção da amostra nº 47 que apresentou valor de 0,527 mg.L⁻¹ (Tabela 02a).

O ferro total variou de menor que 0,005 mg.L⁻¹ a 0,125 mg.L⁻¹ enquanto que o ferro dissolvido variou de menor que 0,005 mg.L⁻¹ a 0,045 mg.L⁻¹. A concentração de sílica variou de 6,28 mg.L⁻¹ a 8,14 mg.L⁻¹ com média de 7,28 mg.L⁻¹ (Tabela 02a).

A concentração de urânio dissolvido variou de 0,04 µg.L⁻¹ a 0,84 µg.L⁻¹, tendo como média 0,39 µg.L⁻¹, enquanto que a RA variou de 1,27±0,10 a 3,27±0,12, tendo como média 2,14±0,10 (Tabela 05a - Anexo).

6.8 Barreirinha

A média da profundidade dos poços amostrados foi de 85,00 m. O N.E. variou de 3,00 m a 3,50 m e o N.D. de 11,00 m a 16,00. As vazões adquiridas foram de 39,00 m³/h e 88,00 m³/h, respectivamente. A litologia variou de estratos argilo-arenosos a areias com concreções ferruginosas (Tabela 01b).

O valor da temperatura do ar no período de coleta foi de 35,0°C e o das águas amostradas de 28,5°C (Tabela 02a).

O pH foi de 4,1, caracterizando-as como águas ácidas e a condutividade elétrica variou de 12,2 µS.cm⁻¹ a 16,4 µS.cm⁻¹ enquanto que a turbidez variou de 0,2 UNT a 0,3 UNT, respectivamente (Tabela 02a).

A valor da alcalinidade foi abaixo do limite de detecção do método utilizado. A dureza variou de 2,27 mg.L⁻¹ a 2,36 mg.L⁻¹ e o apresentou valor de 0,19 mg.L⁻¹ para os dois poços amostrados, enquanto que a concentração de magnésio variou de 0,38 mg.L⁻¹ a 0,40 mg.L⁻¹

(Tabela 02a). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de 1,3 mg.L⁻¹ a 1,5 mg.L⁻¹, a de potássio de 2,7 mg.L⁻¹ a 4,1 mg.L⁻¹ e a de cloro de 0,85 mg.L⁻¹ a 1,14 mg.L⁻¹, respectivamente (Tabela 02a).

O fosfato e o sulfato apresentaram valores menores que 0,001 mg.L⁻¹ e 1,0 mg.L⁻¹, para todas as amostras adquiridas (Tabela 02a).

O valor de nitrito foi menor que 0,005 mg.L⁻¹ para os poços amostrados. O valor de nitrato variou de 0,051 mg.L⁻¹ a 0,057 mg.L⁻¹ e o de amônia foi menor que 0,1 mg.L⁻¹ para as ambas as amostras (Tabela 02a).

O ferro total variou de 0,030 mg.L⁻¹ a 0,081 mg.L⁻¹ enquanto que o ferro dissolvido apresentou valor menor que 0,005 mg.L⁻¹ para os poços amostrados. A concentração de sílica variou de 10,91 mg.L⁻¹ a 13,23 mg.L⁻¹ (Tabela 02a).

A concentração de urânio dissolvido variou de 0,04 µg.L⁻¹ a 0,45 µg.L⁻¹ e a RA variou de 1,79±0,13 a 2,98±0,14 (Tabela 05a - Anexo).

6.9 Maués

A profundidade dos poços amostrados variou de 31,00 m a 81,00 m, com média de 47,24 m. O N.E. variou de 5,0 m a 10,00 m com média de 7,83 m, enquanto que o N.D. foi adquirido apenas para os poços nº 55 e 56 de 11,52 m e 16,70 m, respectivamente. A litologia variou de estratos de argila a areia grossa com níveis de areia com concreções ferruginosas (Tabela 01b).

A vazões foram adquiridas para os poços nº 55, 56 e 58 de 91,20 m³/h, 52,80 m³/h e 48,00 m³/h, respectivamente (Tabela 01a).

O valor médio da temperatura do ar no período de coleta foi de 29,50°C e o das águas amostradas de 28,33°C (Tabela 02a).

O pH variou de 4,2 a 4,3, caracterizando-as como águas ácidas (Tabela 02a). A condutividade elétrica variou de 11,1 µS.cm⁻¹ a 122,00 µS.cm⁻¹ enquanto que a turbidez variou de 0,2 UNT a 4,2 UNT com média de 1,33 UNT (Tabela 02a).

O valor da alcalinidade foi abaixo do limite de detecção do método utilizado. A dureza variou de 0,57 mg.L⁻¹ a 7,47 mg.L⁻¹ e o cálcio de 0,0 mg.L⁻¹ a 1,31 mg.L⁻¹, enquanto que a concentração de magnésio variou de 0,06 mg.L⁻¹ a 0,83 mg.L⁻¹ (Tabela 02a). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de 0,7 mg.L⁻¹ a 11,0 mg.L⁻¹, a de potássio de 0,1 mg.L⁻¹ a 3,2 mg.L⁻¹ e a de cloro de 0,85 mg.L⁻¹ a 13,98 mg.L⁻¹ (Tabela 02a).

O fosfato e o sulfato apresentaram valores menores que 0,001 mg.L⁻¹ e 1,0 mg.L⁻¹, respectivamente, para todas as amostras adquiridas (Tabela 02a).

O valor de nitrito foi menor que 0,005 mg.L⁻¹ para todos os poços amostrados. O valor de nitrato variou de 0,139 mg.L⁻¹ a 6,218 mg.L⁻¹ e o de amônia foi menor que 0,1 mg.L⁻¹ para praticamente todas as amostras, com exceção da amostra nº 55 que apresentou valor de 1,811 mg.L⁻¹ (Tabela 02a).

O ferro total variou de menor que 0,005 mg.L⁻¹ a 0,099 mg.L⁻¹ enquanto que o ferro dissolvido variou de menor que 0,005 mg.L⁻¹ a 0,063 mg.L⁻¹. A sílica dissolvida variou de 4,13 mg.L⁻¹ a 8,14 mg.L⁻¹ com média de 6,02 mg.L⁻¹ (Tabela 02a).

A concentração de urânio dissolvido variou de 0,03 µg.L⁻¹ a 0,29 µg.L⁻¹, tendo como média 0,15 µg.L⁻¹, enquanto que a RA variou de 1,00±0,11 a 2,00±0,11, tendo como média 1,43±0,11 (Tabela 05a - Anexo).

6.10 Boa Vista do Ramos

A profundidade dos poços amostrados variou de 100,00 m a 86,00 m. Para ambos os poços, o N.E. e o N.D. foram de 11,00 m e 14,00 m, respectivamente. A vazão para o poço nº 60 foi de 42,00 m³/h. A litologia dos poços variou de argila a areia fina com níveis de concreções ferruginosas (Tabela 01b).

O valor médio da temperatura do ar no período de coleta foi de 29,5°C e o das águas amostradas de 28°C. Os valores de pH variaram de 4,1 a 4,2, caracterizando-as como águas ácidas (Tabela 02a).

A condutividade elétrica variou de 12,8 µS.cm⁻¹ a 14,4 µS.cm⁻¹ enquanto que a turbidez variou de 0,2 UNT a 0,3 UNT (Tabela 02a).

O valor da alcalinidade foi abaixo do limite de detecção do método utilizado. A dureza variou de 0,801 mg.L⁻¹ a 1,112 mg.L⁻¹ enquanto que o cálcio variou de 0,096mg.L⁻¹ a 0,144 mg.L⁻¹. A concentração de magnésio variou de 0,087 mg.L⁻¹ a 0,185 mg.L⁻¹ (Tabela 02a). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de potássio foi de 0,1 mg.L⁻¹ e a de sódio variou de 0,8 mg.L⁻¹ a 0,9 mg.L⁻¹ enquanto que o cloro foi de 1,065 mg.L⁻¹. O fosfato foi menor que 0,001 mg.L⁻¹ e o sulfato teve valores abaixo de 1,0 mg.L (Tabela 02a).

O valor de nitrito foi abaixo de $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$, para todas as amostras e o de nitrato variou de $0,131 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,180 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o de amônia foi menor que $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para todas as águas amostradas (Tabela 02a).

O ferro total e o ferro dissolvido apresentaram valores menores que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ para todas as amostras. A concentração de sílica variou de $6,93 \text{ mg.L}^{-1}$ a $7,45 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02a).

A concentração de urânio dissolvido foi de $0,01 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ e a RA foi de $1,22 \pm 0,11$ (Tabela 05a - Anexo).

6.11 Urucará

A profundidade dos poços amostrados variou de 29,00 m a 74,00 m, tendo média de 67,75 m. O N.E. foi adquirido apenas em três poços e variou de 9,00 m a 14,00 m enquanto o N.D. foi adquirido apenas em um poço e foi de 35,00 m. A vazão foi adquirida apenas no poço nº 62 e foi de $54,00 \text{ m}^3/\text{h}$. Os perfis litológicos mostram estratos de argila, areia fina, argiloarenoso e concreção ferruginosa (Tabela 01b).

O valor médio da temperatura do ar no período de coleta foi de $32,38^\circ\text{C}$ e o das águas amostradas de $28,38^\circ\text{C}$ (Tabela 02a).

Os valores de pH variaram de 4,2 a 5,0, caracterizando-as como águas ácidas. A condutividade elétrica variou de $9,2 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ a $50,3 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ com média igual a $18,83 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ (Tabela 02a).

A turbidez variou de 0,2 UNT a 0,4 UNT com média de 0,28 UNT. A alcalinidade média foi de $0,99 \text{ mg.L}^{-1}$. A dureza variou de $0,93 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,98 \text{ mg.L}^{-1}$ com média igual a $1,50 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o cálcio variou de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,22 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média igual a $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de magnésio variou de $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,51 \text{ mg.L}^{-1}$ com média igual a $0,28 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02a). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$ a $8,7 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média de $2,33 \text{ mg.L}^{-1}$ e a de potássio variou de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média igual a $0,89 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02a).

O cloro variou de $1,06 \text{ mg.L}^{-1}$ a $3,69 \text{ mg.L}^{-1}$ e teve média de $1,77 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto o fosfato variou de menor que $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de sulfato apresentou valores abaixo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02a).

O valor de nitrito foi abaixo de $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$, para todas as amostras e o de nitrato variou de $0,039 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,409 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média de $0,500 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o de amônia foi menor que $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para todas as águas amostradas (Tabela 02a).

O ferro total variou de $0,109 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,233 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo como média $0,130 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o ferro dissolvido apresentou valor menor que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ para todas as amostras. A concentração de sílica variou de $3,45 \text{ mg.L}^{-1}$ a $19,74 \text{ mg.L}^{-1}$ com média de $9,89 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02a).

A concentração de urânio dissolvido variou de $0,01 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ a $0,25 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, tendo como média $0,15 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto que a RA variou de $1,00 \pm 0,16$ a $2,30 \pm 0,11$, tendo como média $1,29 \pm 0,09$ (Tabela 05a - Anexo).

6.12 São Sebastião do Uatumã

Os poços amostrados apresentaram profundidades de 26,31 m a 97,00 m, com média de 61,77 m. O N.E. foi adquirido apenas em dois poços e variou de 5,59 m a 7,50 m, enquanto que o N.D. e a vazão foram adquiridos apenas para um poço e foram de 10,00 m e $9,60 \text{ m}^3/\text{h}$. A litologia variou de estratos de argila, argila com areia fina, areia fina e níveis de concreções ferruginosas (Tabela 01c).

O pH variou de 6,0 a 6,1, caracterizando-as como águas ácidas. A condutividade elétrica variou de $36,4 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ a $36,8 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ com média igual a $36,5 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ (Tabela 02b).

A turbidez variou de 0,3 UNT a 7,6 UNT com média de 0,3 UNT, excetuando o poço nº 71. A alcalinidade variou de $15,25 \text{ mg.L}^{-1}$ a $15,86 \text{ mg.L}^{-1}$. A dureza variou de $9,21 \text{ mg.L}^{-1}$ a $10,63 \text{ mg.L}^{-1}$, com média igual a $10,05 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o cálcio variou $0,58 \text{ mg.L}^{-1}$ a $2,48 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média igual a $1,38 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de magnésio variou de $0,73 \text{ mg.L}^{-1}$ a $1,62 \text{ mg.L}^{-1}$, com média igual a $1,17 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02b). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

O sódio variou de $1,1 \text{ mg.L}^{-1}$ a $1,4 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média igual a $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o potássio variou de $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$ a $7,2 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média de $7,1 \text{ mg.L}^{-1}$. O cloro variou de $1,06 \text{ mg.L}^{-1}$ a $1,35 \text{ mg.L}^{-1}$ com média de $1,23 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02b).

A concentração de sulfato foi abaixo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, para todos os poços amostrados (Tabela 02b).

O valor de nitrito foi abaixo de $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$, para todas as amostras e o de nitrato variou de $0,116 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,135 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média de $0,130 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o de amônia variou de menor que $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,107 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02b).

O ferro dissolvido apresentou valor menor que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ para todas as amostras enquanto que o ferro total variou de menor que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ a $1,97 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02b).

A concentração de urânio dissolvido variou de $0,02 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ a $0,37 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, tendo como média $0,16 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto que a RA variou de $1,14 \pm 0,09$ a $2,66 \pm 0,09$, tendo como média $1,79 \pm 0,11$ (Tabela 05a - Anexo).

6.13 Tefé

A profundidade dos poços amostrados variou de 84,00 m a 108,00 m com média de 93,86 m. A média para o N.E. e o N.D. foi de 19,62 m e 38,91 m, respectivamente. A vazão variou de $7,07 \text{ m}^3/\text{h}$ a $113,14 \text{ m}^3/\text{h}$, tendo média de $59,20 \text{ m}^3/\text{h}$. Quanto à litologia do perfil dos poços amostrados, essa variou de argila a areia média com níveis de concreções ferruginosas (Tabela 01c).

O valor médio da temperatura do ar no período de coleta foi de $35,71^\circ\text{C}$ e o das águas amostradas de $29,09^\circ\text{C}$ (Tabela 02b).

Os valores de pH variaram de 5,4 a 5,9, caracterizando-as como águas ácidas, enquanto que o Eh variou de $+189 \text{ mV}$ a $+201 \text{ mV}$, tendo como média $+196 \text{ mV}$ (Tabela 02b). Estes valores de pH e Eh caracterizam as águas estudadas como de ambiente “reduzidor ácido” (Figura 51).

A condutividade elétrica variou de $22,0 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ a $54,0 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$. A turbidez variou de 0,3 UNT a 8,3 UNT com os poços nº 72, 75 e 76 apresentando os valores de 0,7, 1,0 e 8,3 UNT, respectivamente, caracterizando-os como os poços com os maiores valores de turbidez na cidade de Tefé (Tabela 02b).

Quanto à alcalinidade, essa variou de $13,42 \text{ mg.L}^{-1}$ a $34,77 \text{ mg.L}^{-1}$ e média de $21,44 \text{ mg.L}^{-1}$. A dureza variou de $2,62 \text{ mg.L}^{-1}$ a $347,10 \text{ mg.L}^{-1}$ com média igual a $133,63 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o cálcio variou de $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$ a $49,17 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo média igual a $14,82 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de magnésio variou de $0,27 \text{ mg.L}^{-1}$ a $49,56 \text{ mg.L}^{-1}$ com média igual a $20,21 \text{ mg.L}^{-1}$. Os poços nº 72, 75 e 76 apresentaram os maiores valores de cálcio e magnésio (Tabela 02b). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), as águas dos poços nº 72, 75 e 76 são do tipo “dura” e as dos poços nº 73, 74, 77 e 78 são do tipo “mole”.

A concentração de sódio variou de 2,4 mg.L⁻¹ a 6,5 mg.L⁻¹, tendo média de 4,3 mg.L⁻¹ e a de potássio variou de 2,29 mg.L⁻¹ a 3,3 mg.L⁻¹, tendo média igual a 2,87 mg.L⁻¹. O cloro variou de 0,64 mg.L⁻¹ a 5,04 mg.L⁻¹ e teve média de 1,59 mg.L⁻¹ (Tabela 02b).

As concentrações de fosfato e sulfato apresentaram valores abaixo de 0,001 mg.L⁻¹ e 1,0 mg.L⁻¹ para todas as águas amostradas, respectivamente (Tabela 02b).

O valor de nitrito foi abaixo de 0,005 mg.L⁻¹, para todas as amostras e o de nitrato variou de 0,010 mg.L⁻¹ a 1,85 mg.L⁻¹, tendo média de 0,350 mg.L⁻¹ enquanto que o de amônia variou de menor que 0,1 mg.L⁻¹ a 0,75 mg.L⁻¹ para todas as águas amostradas (Tabela 02b).

O ferro total variou de menor que 0,005 mg.L⁻¹ a 1,070 mg.L⁻¹, tendo como média 0,022 mg.L⁻¹ enquanto que o ferro dissolvido apresentou valor menor que 0,005 mg.L⁻¹ para todas as amostras (Tabela 02b).

A concentração de urânio dissolvido variou de 0,11 a 0,45 µg.L⁻¹, tendo como média 0,004 µg.L⁻¹, enquanto que a RA variou de 1,11±0,13 a 3,40±0,12, tendo como média 2,16±0,13 (Tabela 05a - Anexo).

6.14 Alvarães

A profundidade dos poços amostrados foi de 45,00 m, enquanto o N.E. variou de 6,00 m a 8,00 m. As vazões adquiridas foram de 9,60 m³/h e 18,00 m³/h, respectivamente. A litologia variou de argila a areia grossa (Tabela 01c).

O valor médio da temperatura do ar no período de coleta foi de 35,0°C e o das águas amostradas de 29,0°C (Tabela 02b).

O pH variou de 5,2 a 5,3, caracterizando-as como águas ácidas, enquanto que o Eh variou de + 193 mV a + 195 mV (Tabela 02b). Estes valores de pH e Eh caracterizam as águas estudadas como de ambiente “reduzidor ácido” (Figura 51).

A condutividade elétrica variou de 22,6 µS.cm⁻¹ a 28,7 µS.cm⁻¹. O valor de alcalinidade variou de 5,59 mg.L⁻¹ a 6,71 mg.L⁻¹ enquanto que a turbidez variou de 0,3 UNT a 0,4 UNT, respectivamente (Tabela 02b).

A dureza variou de 2,85 mg.L⁻¹ a 2,89 mg.L⁻¹ e cálcio de 0,25 mg.L⁻¹ a 0,69 mg.L⁻¹ para os poços amostrados, enquanto que a concentração de magnésio variou de 0,21 mg.L⁻¹ a 0,47 mg.L⁻¹ (Tabela 02b). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de 2,60 mg.L⁻¹ a 3,30 mg.L⁻¹, a de potássio de 0,9 mg.L⁻¹ a 1,0 mg.L⁻¹ e a de cloro de 3,41 mg.L⁻¹ a 5,61 mg.L⁻¹, respectivamente (Tabela 02b).

O fosfato e o sulfato apresentaram valores menores que 0,001 mg.L⁻¹ e 1,0 mg.L⁻¹, para todas as amostras adquiridas. O valor de nitrito foi menor que 0,005 mg.L⁻¹ para os poços amostrados. O valor de nitrato variou de 0,530 mg.L⁻¹ a 0,560 mg.L⁻¹ e o de amônia foi menor que 0,10 mg.L⁻¹ para as ambas as amostras (Tabela 02b).

O ferro total e o ferro dissolvido apresentaram valores menores que 0,005 mg.L⁻¹ para todos os poços amostrados. A concentração de sílica variou de 12,15 mg.L⁻¹ a 12,71 mg.L⁻¹ (Tabela 02b).

O urânio dissolvido variou de 0,05 µg.L⁻¹ a 0,16µg.L⁻¹, enquanto que a RA variou de 1,12±0,10 a 1,25±0,12 (Tabela 05a - Anexo).

6.15 Uarini

A profundidade dos poços amostrados variou de 26,00 m a 32,00 m, tendo média de 29,00 m. O N.E. variou de 7,00 m a 8,50 m com média de 7,50 m, enquanto que o N.D. e a vazão foram adquiridos apenas para o poço nº 81 de 24,00 m e 10,80 m³/h. A litologia dos poços amostrados variou de argila a areia fina (Tabela 01c).

Os valores médios da temperatura do ar e das águas amostradas, no período de coleta, foram de 37,00°C e 29,00°C, respectivamente (Tabela 02b).

O pH foi de 4,8, caracterizando-as como águas ácidas, enquanto que o Eh variou de + 197 mV a + 207 mV, tendo como média + 202 mV (Tabela 2b). Estes valores de pH e Eh caracterizam as águas estudadas como de ambiente “redutor ácido” (Figura 51).

A condutividade elétrica variou de 11,5 µS.cm⁻¹ a 26,7 µS.cm⁻¹. A turbidez foi de 0,2 UNT para os poços amostrados (Tabela 02b).

A valor da alcalinidade variou de 3,66 mg.L⁻¹ a 4,88 mg.L⁻¹. A dureza variou de 0,62 mg.L⁻¹ a 0,66 mg.L⁻¹ e o cálcio foi de 0,09 mg.L⁻¹ para os poços amostrados, enquanto que a concentração de magnésio variou de 0,08 mg.L⁻¹ a 0,09 mg.L⁻¹ (Tabela 02b). De acordo com a classificação de Sawyer & Mccarty (1967), essas águas são do tipo “moles”.

A concentração de sódio variou de 1,3 mg.L⁻¹ a 3,3 mg.L⁻¹, a de potássio de 1,0 mg.L⁻¹ a 1,3 mg.L⁻¹ e a de cloro de 1,13 mg.L⁻¹ a 1,92 mg.L⁻¹ (Tabela 02b).

O fosfato e o sulfato apresentaram valores menores que 0,001 mg.L⁻¹ e 1,0 mg.L⁻¹, respectivamente, para todas as amostras adquiridas (Tabela 02b).

O valor de nitrito foi menor que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ para todos os poços amostrados. O valor de nitrato variou de $0,210 \text{ mg.L}^{-1}$ a $1,320 \text{ mg.L}^{-1}$ e o de amônia foi menor que $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,18 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02b).

O ferro total variou de $0,011 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,055 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto que o ferro dissolvido apresentou valores menores que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de sílica variou de $12,20 \text{ mg.L}^{-1}$ a $12,60 \text{ mg.L}^{-1}$ com média de $12,40 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 02b).

O urânio dissolvido nas águas amostradas foi de $0,18 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto que a RA foi de $1,40 \pm 0,08$ (Tabela 05a - Anexo).

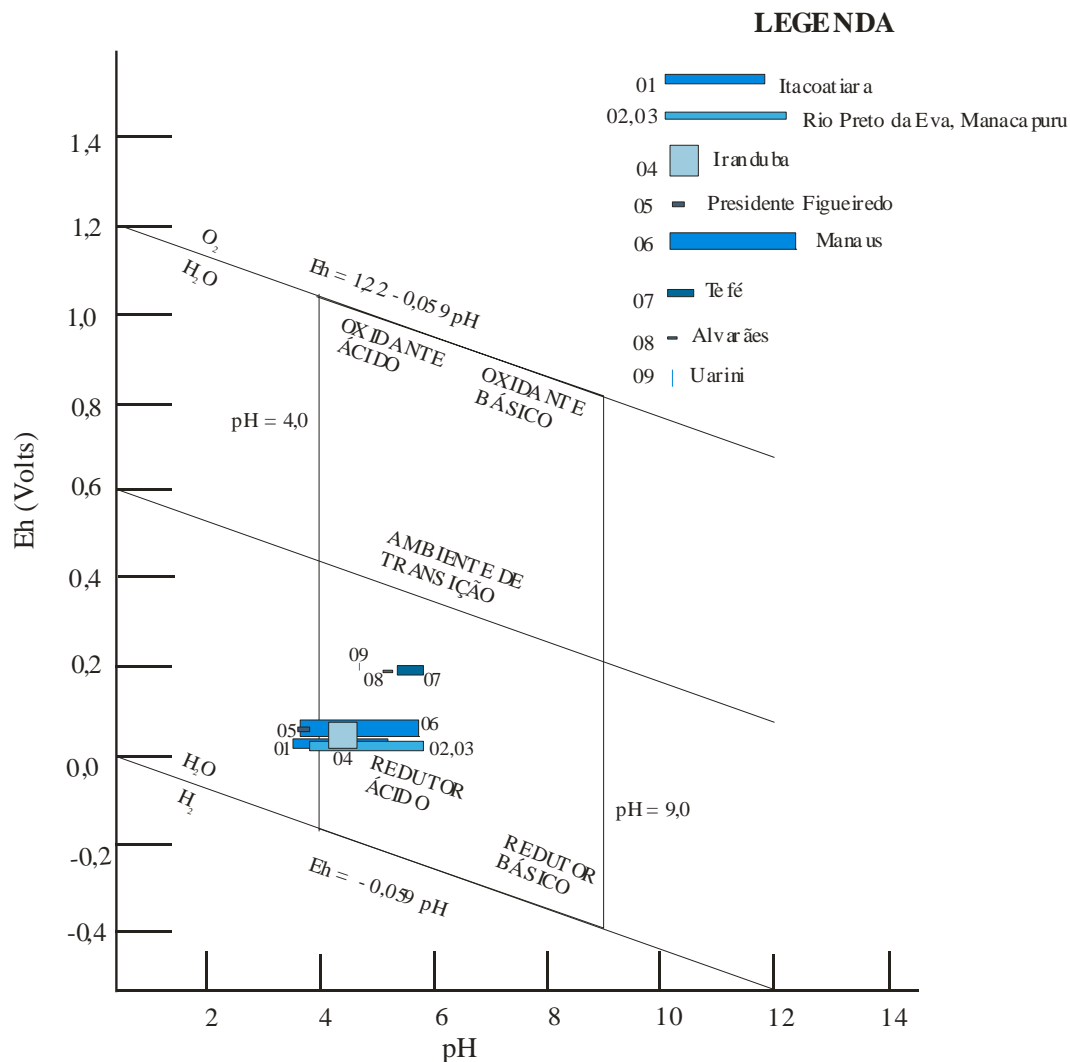


Figura 51. Diagrama Eh-pH das águas amostradas em cidades do estado do Amazonas (Langmuir, 1978).

Tabela 01. Dados gerais dos poços amostrados nas cidades de Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Manacapuru, Iranduba e Presidente Figueiredo - AM

AMOSTRA /POÇO	CIDADE/MUNICÍPIO	DATA COLETA	UTM OESTE	UTM NORTE	LOCAL	HORA COLETA	¹ PROF. (m)	² N.E. (m)	³ N.D. (m)	VAZÃO (m ³ /h)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA*
01	ITACOATIARA	21/12/00	339101	9653630	SAAE	14:45	31,00	4,00	5,30	48,00	0-S-5-Ag-13-ArM-15-Ag-20-Ar-34-Ag-40,8-ArM-42-Ag-98-Ar-104-Ag-113-ArM-113,5-Ag-120,8-ArM-122,2-Ar-124-ArM-125-Ar-161
02	ITACOATIARA	21/12/00	339834	9652925	SAAE	15:50	161,0	12,00	-	100,00	0-Ag-2-C-3,5-ArM-5,5-ArF-7-Ag-19-ArM-28-Ag-62-ArG-66-Ag-70-ArG-80-ArM-85-ArG-95-Ag-101-ArM-114-Ag-116-ArM-124-Ag-128-ArM-131-Ag-152-ArM-156-Ag-178
03	ITACOATIARA	21/12/00	339335	9651925	SAAE	16:30	176,00	1,80	20,00	99,00	0-C-4-ArM-6-Ag-7-ArM-7,6-Ag-10-ArM-26-Ag-27-ArM-36,5-Ag-43-ArM-75-Ag-77-ArG-83-Ag-89-ArG-99-Ag-106,5-ArM-107,5-Ag-114-ArM-125-Ag-126
04	ITACOATIARA	21/12/00	340460	9653807	SAAE	15:00	126,00	13,00	*	99,00	0-S-8-Ag-10-ArM-12-Ar-15-Ag-18-Ar-25-ArM-28-Ar-39-Ag-54-Ar-60-Ag-70-Ar-74-ArM-78-Ar-82-Ag-90-Ar-98-ArM-108-Ar-112-Ag-116-Ar-122-ArM-138-Ar-152-Ag-154-Ar-158-ArM-172
05	ITACOATIARA	21/12/00	340399	9653469	SAAE	15:35	172,00	14,00	19,00	60,00	0-Ag-2-C-5-ArM-13-C-16-ArM-19-Ag-34-ArG-39-Ag-42-ArM-58-ArM-67-ArF-77-Ag-88-ArM-102-Ag-106-ArM-128-Ag-134-ArM-138-Ag-142-ArM-148
06	ITACOATIARA	21/12/00	338641	9652116	SAAE	14:35	148,00	16,00	27,00	99,00	0-S-2-C-14-Ar-17-Ag-27-ArM-30-Ag-31-Ar-36-Ag-40-ArM-42-Ag-44-ArM-46-Ag-50-ArM-54-Ar-62-Ag-82-Ar-140
07	ITACOATIARA	21/12/00	341155	9654333	SAAE	15:20	140,00	*	*	99,00	0-S-2-C-14-Ar-17-Ag-27-ArM-30-Ag-31-Ar-36-Ag-40-ArM-42-Ag-44-ArM-46-Ag-50-ArM-54-Ar-62-Ag-82-Ar-140
Média							136,28	10,13	17,82	86,28	
08	RIO PRETO DA EVA	21/12/00	199417	9700844	SUFRAMA	14:40	72,00	17,65	49,55	8,50	0-ArF-Ag-19,2-Ag-25,6-ArM-30,4-Ag-35,2-ArF-Ag-37,1-Ag-42,1-ArF-44,8-Ag-48,3-ArF-72
09	MANACAPURU	30/01/01	763582	9634554	SAAE	11:10	104,00	18,00	36,00	18,00	0-Ag-ArF-13-ArG-17-ArM-20-ArF-28-ArG-37-ArM-63-ArG-77-ArM-95-Ag-104
10	MANACAPURU	30/01/01	764478	9634032	SAAE	11:30	95,00	16,00	42,00	6,50	0-ArF-18-ArF-Ag-20-ArM-25-ArG-32-Ag-50-ArG-55-ArM-57-Ag-67-ArM-70-ArG-75-Ag-77-ArF-80-Ag-95
11	MANACAPURU	30/01/01	763040	9635159	SAAE	12:10	96,00	20,00	47,00	12,00	0-ArL-5-ArAg-9,5-ArM-17-ArF-26-ArG-48-Ag-50-ArM-59-ArG-71-ArM-80-ArG-96
12	MANACAPURU	30/01/01	763243	9635916	SAAE	12:20	106,00	26,00	70,00	17,20	0-ArL-2-Ag-4-ArAg-6-Ag-16-Ar-20-ArF-24-ArF-24-ArG-32-ArF-Ag-106
13	MANACAPURU	30/01/01	763669	9636275	SAAE	12:35	120,00	12,00	68,00	18,60	0-ArL-10-Ag-20-ArF-24-ArM-28-ArF-40-ArM-44-ArF-52-Ag-56-ArM-60-ArF-76-ArM-80-Ag-88-ArF-120
14	MANACAPURU	30/01/01	762156	9636274	SAAE	12:50	104,00	16,50	*	*	0-ArF-Ag-4-Ag-15-Ag-ArF-17-ArG-27-Ag-28-ArM-74-ArM-80-Ag-81-ArM-91-ArM-95-Ag-104
15	MANACAPURU	30/01/01	762888	9638910	SAAE	13:25	100,00	20,00	76,50	8,20	0-ArF-Ag-12,7-ArG-28,6-ArM-37,4-ArG-47,1-ArM-53,4-Ar-60,7-ArM-65,6-Ag-66,6-ArM-70,4-ArG-80-Ag-97,1-ArM-102,4-ArF-Ag-110
Média							103,57	18,35	56,58	13,41	
16	IRANDUBA	08/02/01	812610	9636918	CEAM	9:20	116,00	26,50	62,50	6,26	0-ArF-Ag-59-Ag-69-ArF-Ag-83-Ag-87-ArF-Ag-114-Ag-116
17	IRANDUBA	08/02/01	812244	9636182	PARTICULAR	9:40	59,00	5,00	18,00	6,00	0-Ag-48-ArF-51,3-Ag-56-Ag-ArF-59
18	IRANDUBA	08/02/01	803944	9639484	EMBRAPA	10:40	57,70	24,50	48,00	0,60	0-Ag-1,3-ArF-Ag-40-Ag-48,9-ArF-Ag-57,7
Média							77,56	18,66	42,83	4,28	
19	PRESIDENTE FIGUEIREDO	13/02/01	230862	9786528	HIDROELÉT. BALBINA	14:15	90	3,70	46,12	15,80	*
20	PRESIDENTE FIGUEIREDO	13/02/01	230530	9786480	HIDROELÉT. BALBINA	14:40	100	2,20	38,00	42,30	*
Média							95,00	2,95	42,06	29,05	

* ArL - areia com laterita; ArM- arenito Manaus; Arf - areia fina; Arm - areia média; ArG - areia grossa; ArF-Ag - areia fina com argila; Ag-ArF - argila com areia fina; ArC - areia conglomerática;

Ag - argila, argilito; S - solo; C - cascalho ou concreção ferruginosa.

¹ Profundidade; ² Nível Estático; ³ Nível Dinâmico.

* Dados inexistentes.

Tabela 01a. Dados gerais dos poços amostrados na cidade de Manaus - AM

AMOSTRA /POÇO	CIDADE/MUNICÍPIO	DATA COLETA	UTM OESTE	UTM NORTE	LOCAL	HORA COLETA	ALT. (m)	² PROF. (m)	³ N.E. (m)	⁴ N.D. (m)	VAZÃO (m ³ /h)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA*
21	MANAUS	06/03/01	505766	9656906	PEPSI	10:35	75,00	160,00	62,80	105,13	*	0-Ag-10-Arf-56-Ag-82-Arf-104-ArM-110-Ag-120-Ar-138-Ag-140-Ar-162
22	MANAUS	06/03/01	504477	9653797	XEROX	11:05	65,00	138,00	55,00	104,50	*	0-Ag-20-Arf-104-Ag-108-ArM-112-Ag-126-Arf-138
23	MANAUS	06/03/01	505895	9663048	PARTICULAR	11:40	78,00	60,00	28,00	44,00	3,00	0-Ag-28-ArM-44-ArM-48-ArM-52-Ag-56-Ar-60
24	MANAUS	06/03/01	506437	9660228	ZUMBI	12:20	60,00	228,00	72,30	114,85	198,00	0-Ag-7-Arf-92-ArM-94-Arf-100-Ag-103-Arf-139-ArM-141-Ar-175-Ag-178-Arf-215-Ag-228
25	MANAUS	20/03/01	495101	9660622	SESC	8:45	62,00	171,00	55,73	99,03	35,20	0-Ag-7-Arf-24-ArM-29-Arf-54-ArM-57-ArM-67-Arf-73-Ag-91-Arf-98-ArG-122-Ag-141-Arf-171
26	MANAUS	20/03/01	496760	9654436	ATL.RIO.N. CLUBE	9:30	52,00	168,00	37,60	46,47	*	0-Ag-3-Arf-9-Ag-18-Arf-24-Ag-33-Arf-36-Ag-93-Arf-129-Ag-144-Arf-168
27	MANAUS	20/03/01	497111	9657663	POSTO GAS. AM. SHOP.	10:20	50,00	120,00	47,40	57,00	*	0-Ag-26-ArM-40-Ag-50-Ar-54-Ag-66-Ar-72-Ag-88-Arf-86-Ag-94-Arf-121
28	MANAUS	20/03/01	507425	9659707	ESC. AGROTÉCN.	11:10	65,00	145,00	55,00	116,00	15,61	0-Ag-21-Arf-48-ArG-96-Arf-140-AgArf-145
29	MANAUS	21/03/01	498844	9654665	IMP. CALIF.	10:00	49,00	80,00	34,15	51,38	*	0-S-4-Arf-15-Ag-18-ArM-80
30	MANAUS	21/03/01	503137	9657483	CAMPUS	11:00	87,00	143,00	22,92	44,33	79,20	0-Ag-6-Arf-21-Ag-26-Arf-50-Ag-56-Arf-71-Ag-88-Ar-102-Ag-105-Arf-118-Ag-123-Arf-143
31	MANAUS	26/03/01	488502	9660788	ED. BARÃO DO RIO NEGRO	9:00	29,00	80,00	11,00	25,00	*	0-Arf-14,02-ArM-14,52-ArC-32,68-Ag-46,09-Arf-51,26-Ag-54,70-ArM-58,70-Ag-67,61-ArM-68,11-Arf-74,59-Ag-75,57-Arf-78,57-Ag-89,50
32	MANAUS	26/03/01	494339	9656260	SÉCULOS DA AMAZÔNIA	9:38	50,00	80,00	34,15	51,38	*	0-S-4-Arf-15-Ag-18-ArM-80
33	MANAUS	26/03/01	503501	9660159	SESI	11:10	63,00	172,00	66,10	94,30	68,00	0-Arf-38-ArG-44-Arf-103-Ag-116-Arf-172
34	MANAUS	27/03/01	500333	9667416	PORTAL DA CIDADE	11:00	76,00	154,00	33,92	98,82	30,04	0-Ag-7-Arf-86-Ag-89-Ar-103-Ag-107-Arf-154
35	MANAUS	02/04/01	496465	9659231	ESTÁDIO VIVALDO LIMA	11:35	45,00	152,80	*	*	*	0-Arf-17-ArM-20-Arf-57-Ag-60-Arf-85-ArM-88-Arf-101-Ag-103-Arf-138-Ag-140-Arf-152,8
36	MANAUS	02/04/01	500399	9664074	BRAGA - C. NOVA	12:15	75,00	120,00	35,50	46,10	*	0-Ag-18-ArM-120
37	MANAUS	03/04/01	506873	9663637	J. TEIXEIRA	10:20	68,00	74,00	28,00	42,00	2,40	0-Ag-28-ArG-36-ArM-40-ArM-60-Ag-64-ArC-68-Ag-74
38	MANAUS	03/04/01	507032	9667606	CIDADE DE DEUS	10:50	100,00	60,00	32,00	48,00	2,70	0-Ag-27-Arf-48-Ag-52-ArM-56-Ag-60
39	MANAUS	05/04/01	511521	9658809	HOSPITAL COL. ANTON. ALEIXO	9:40	15,00	95,00	49,73	56,23	6,50	0-AgArf-6-Arf-10-Ag-12-ArM-24-Ag-26-ArM-38-ArM-42-Ag-46-ArM-56-Ag-60-ArfAg-62-Ag-74-ArM-86-Ag-90-ArM-92-ArG-96-ArM-97
40	MANAUS	05/04/01	505365	9656795	KODAK	10:30	65,00	120,00	48,00	60,00	10,28	0-Arf-10-ArG-23,64-Ag-37,53-Arf-50,49-ArG-59,82-Arf-64,79-ArG-69,64-Arf-88-Ag-91,77-ArM-92,77-Ag-99,60-ArM-100,50-Arf-107,22-Ag-110,70-ArM-111,70-Arf-120
41	MANAUS	05/04/01	502465	9655909	ULBRA	11:30	40,00	80,00	20,00	32,00	6,00	0-S-1-Arf-18-ArM-22-Arf-27-ArM-33-Arf-43-ArM-77-Arf-80
42	MANAUS	05/04/01	500062	9658105	J.G.MÓVEIS	12:00	52,00	70,40	37,00	48,00	2,00	0-Ag-6-AgArf-20-Ag-24-AgArf-42-Arf-44-Ag-48-ArM-54-AgArf-58-ArM-64-ArfAg-68-Arf-70-ArG-74,40
43	MANAUS	16/04/01	498687	9667626	NOVO ISRAEL	11:30	52,00	200,00	40,95	97,98	106,77	0-Arf-41-ArM-43-ArfAg-60-Ag-62-ArfAg-82-Ag-86-ArM-131-ArM-133-ArM-163-ArM-165-Arf-194-ArM-197-AgArf-200
44	MANAUS	16/04/01	497645	9668794	EXPOSIÇÃO	12:00	40,00	54,00	0,00	23,49	86,76	0-ArM-12-ArG-43-ArM-54
Média	-	-	-	-	-	-	58,87	121,88	39,44	65,47	46,60	-

* ArL - areia com laterita; ArM - arenito Manaus; Arf - areia fina; ArM - areia média; ArG - areia grossa; ArfAg - areia fina com argila; AgArf - argila com areia fina; ArC - areia conglomerática;

Ag - argila, argilito; S - solo; C - cascalho ou concreção ferruginosa. ¹Altitude; ²Profundidade; ³Nível Estático; ⁴Nível Dinâmico.

* Dados inexistentes.

Tabela 01b. Dados gerais dos poços amostrados nas cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos e Urucará - AM

AMOSTRA /POÇO	CIDADE/MUNICÍPIO	DATA COLETA	UTM OESTE	UTM NORTE	LOCAL	HORA COLETA	PROF. (m)	² N.E. (m)	³ N.D. (m)	VAZÃO (m ³ /h)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA*
45	VILA AMAZÔNIA/PARINTINS	12/11/01	536706	9711328	SAAE	16:00	62,00	10,00	*	*	0-S-1-Ag-6-Arm-12-ArL-12,50-AgArf-20-ArL-20,70-Ag-27-AgArf-28,50-ArL-29-Ag-32-Arm-40-Ag-44-ArfAg-47-Arm-57-Ag-62
46	VILA AMAZÔNIA/PARINTINS	12/11/01	536782	9711315	SAAE	16:30	58,00	10,00	*	*	0-S-0,6-Ag-4-AgArf-13,60-Ag-14,50-ArG-21,40-ArL-22-Ag-27-ArL-28-Arm-30-ArG-40-Arf-44-Arm-54-Ag-58
47	PARINTINS	13/11/01	528614	9708776	SAAE	17:15	66,00	5,00	*	100,00	0-Arf-2-ArG-14-AgArf-18-AgArfG-22-Arf-50-Ag-66
48	PARINTINS	13/11/01	528586	9708691	SAAE	17:40	66,00	4,50	*	100,00	0-Arf-2-ArG-10-AgArf-18-AgArfG-30-AgArf-34-Arf-62-Ag-66
49	PARINTINS	13/11/01	529805	9709527	SAAE	16:30	86,00	8,00	22,00	60,00	0-S-0,4-Ag-2-Arm-11,5-AgArf-15-Ag-17,5-ArG-28-Arf-30-ArG-34-ArfAg-54-Arm-60-ArG-80-Arf-86
50	PARINTINS	13/11/01	529753	9709385	SAAE	16:50	60,00	13,00	20,00	52,80	0-S-0,55-AgArf-7-Arm-10-ArL-13-ArfAg-18-ArG-26-Ag-28-Arm-30-ArG-34-ArmAg-40-ArG-48-Arm-53-ArG-60-Ag-70
Média	-	-	-	-	-	-	66,33	8,41	21,00	78,20	-
51	BARREIRINHA	13/11/01	492049	9690152	SAAE	11:30	85,00	3,00	16,00	88,00	0-ArL-2-Ag-6-ArG-11-Ag-13-Arm-22-AgArf-29-Ag-37-ArfAg-46-Arm-56-ArL-60,5-Arf-63-ArL-68-Arm-78-Ag-85
52	BARREIRINHA	13/11/01	492043	9690111	SAAE	11:50	85,00	3,50	11,00	39,00	0-ArL-1-Ag-5-ArG-13-Arm-21-Ag-35-ArfAg-58-ArL-66-Arm-78-Ag-85
Média	-	-	-	-	-	-	85,00	3,25	13,50	63,50	-
53	VERA CRUZ/MAUÉS	19/02/02	416759	9623737	SAAE	9:35	47,85	5,00	*	*	0-Ag-1-AgArf-3,85-Ag-9,8-ArL-16,5-Ag-39,88-Arf-47,85
54	CANARANA/MAUÉS	20/02/02	405652	9621751	SAAE	17:00	40,00	5,00	*	*	0-Ag-7-ArL-10-Ag-22-Arf-33-Ag-40
55	MAUÉS	19/02/02	420040	9625788	SAAE	11:15	31,60	10,00	11,52	91,20	0-S-4,5-Ag-7,5-Arf-12-Arm-14,8-ArfAg-27,5-ArG-31,6
56	MAUÉS	19/02/02	421189	9625166	SAAE	12:10	31,00	9,00	16,70	52,80	0-S-2,5-Ag-20-Arm-23-ArG-29-ArL-30,7-Ag-31
57	MAUÉS	19/02/02	3°23'24"	57°42'33"	SAAE	15:15	52,00	8,00	*	*	0-Ag-23-ArfAg-30-ArG-52
58	MAUÉS	19/02/02	420090	9626531	SAAE	10:50	81,00	10,00	*	48,00	0-S-1-Ag-16-Arm-20-ArG-21-Arf-31-ArG-33-Arf-62-ArG-73-Arf-77-Ag-81
Média	-	-	-	-	-	-	47,24	7,83	14,11	64,00	-
59	BOA VISTA DO RAMOS	20/02/02	434498	9671393	SAAE	15:15	100,00	11,00	14,00	*	0-S-4-Ag-8-Arf-42-ArG-48-Arf-69-ArG-100
60	BOA VISTA DO RAMOS	20/02/02	435057	9671523	SAAE	16:00	86,00	11,00	14,00	42,00	0-S-0,5-ArL-3-Ag-14-ArL-14,6-Ag-30-Arf-36-Ag-50-ArfAg-59-Arm-70-ArG-82-AgArf-86
Média	-	-	-	-	-	-	93,00	11,00	14,00	42,00	-
61	URUCARÁ	20/03/02	2°32'38"	57°45'56"	SAAE	16:00	29,00	9,00	*	*	0-S-0,2-Ag-7,7-C-8,1-Arf-12-Ag-14,5-Arf-29
62	URUCARÁ	20/03/02	2°32'02"	57°45'26"	SAAE	15:30	74,00	12,00	35,00	54,00	0-S-1-C-4-ArG-13-Ag-24-C-26-Arm-28-ArG-40-C-41,5-ArG-50-C-53-Arm-66-Ag-74
63	URUCARÁ	20/03/02	2°32'15"	57°45'29"	SAAE	15:00	74,00	*	*	*	0-S-1-C-4-ArG-13-Ag-24-C-26-Arm-28-ArG-40-C-41,5-ArG-50-C-53-Arm-66-Ag-74
64	URUCARÁ	20/03/02	2°32'21"	57°45'57"	SAAE	16:35	29,00	*	*	*	0-S-0,2-Ag-7,7-C-8,1-Arf-12-Ag-14,5-Arf-29
65	BONANÇA/URUCARÁ	20/03/02	2°27'17"	57°43'47"	SAAE	11:00	70,00	14,00	*	*	0-S-0,7-Ag-5-AgArf-10-Arf-18-Arm-26-Arf-30-ArG-38-Arm-42-ArG-50-C-64-ArG-70
66	AMANARI/URUCARÁ	20/03/02	2°28'70"	57°42'00"	SAAE	10:00	70,00	*	*	*	0-S-0,7-Ag-5-AgArf-10-Arf-18-Arm-26-Arf-30-ArG-38-Arm-42-ArG-50-C-64-ArG-70
67	BOA ESPERANÇA/URUCARÁ	20/03/02	2°45'37"	57°28'20"	SAAE	12:00	70,00	*	*	*	0-S-0,7-Ag-5-AgArf-10-Arf-18-Arm-26-Arf-30-ArG-38-Arm-42-ArG-50-C-64-ArG-70
68	CASTANHAL/URUCARÁ	20/03/02	2°32'45"	57°42'39"	SAAE	14:20	70,00	*	*	*	0-S-0,7-Ag-5-AgArf-10-Arf-18-Arm-26-Arf-30-ArG-38-Arm-42-ArG-50-C-64-ArG-70
Média	-	-	-	-	-	-	67,75	11,66	35,00	54,00	-

* ArL – areia com laterita; ArM- arenito Manaus; Arf – areia fina; Arm – areia média; ArG – areia grossa; ArfAg - areia fina com argila; AgArf - argila com areia fina; AgArG – argila com areia grossa; AgArf com Fe – argila com areia fina com ferro; Arf com Fe – areia fina com ferro; ArfAg com Fe – areia com argila com ferro; ArfAg - argila conglomerática; Ag – argila, argilito; S – solo; C – cascalho ou concreção ferruginosa. ¹ Profundidade; ²Nível Estático; ³Nível Dinâmico.
* Dados inexistentes.

Tabela 01c. Dados gerais dos poços amostrados nas cidades de São Sebastião do Uatumã, Tefé, Alvarães e Uarini – AM

AMOSTRA /POÇO	CIDADE/MUNICÍPIO	DATA COLETA	UTM OESTE	UTM NORTE	LOCAL	HORA COLETA	PROF. (m)	² N.E. (m)	³ N.D. (m)	VAZÃO (m ³ /h)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA*
69	SÃO SEBASTIÃO DO UATUMÃ	08/05/02	*	*	SAAE	97,00	*	*	*	*	0-S-1,5-C-6-ArG-13-Ag-15,5-C-16-Ag-19-C-20-Ag-30-Arm-40-C-50-ArG-78-Ag-81-C-82-ArG-90-ArF-96-C-97 0-S-1-AgArf-15-Ag-23-AgArf-53-ArF-Ag-62
70	SÃO SEBASTIÃO DO UATUMÃ	08/05/02	*	*	SAAE	62,00	7,50	10,00	9,60		0-S-0,5-AgArf-4,5-Arm-9,62-C-9,89-ArF-Ag-12,66-Ag-12,86-ArF-17,55-Ag-17,87-C-17,97-ArG-18,53-C-18,95-ArG-21,54-Ag-22,69-ArF-26,31
71	SÃO SEBASTIÃO DO UATUMÃ	08/05/02	*	*	SAAE	26,31	5,69	*	*	*	
Média						61,77					*
72	TEFÉ	21/10/02	309267	9629692	COSAMA	15:20	84,00	23,50	45,00	36,00	0-AgArf-6-ArF-Ag-20-Ag-22-ArF-74-Ag-84
73	TEFÉ	21/10/02	309091	9629770	COSAMA	15:35	85,00	15,00	*	52,20	0-Ag-6-ArF-Ag-12-Ag-16-ArF-40-Arm-44-Ag-46-Arm-52-ArF-54-Arm-60-ArF-68-Ag-70-Arm-72-Ag-80-AgArf-85
74	TEFÉ	21/10/02	309006	9629631	COSAMA	15:45	88,00	21,00	42,00	88,00	0-Ag-8-AgArf-10-Ag-14-ArF-16-Arm-20-Ag-24-ArF-30-AgArf-32-ArF-66-Arm-68-ArF-72-Ag-76-AgArf-80-ArF-88
75	TEFÉ	21/10/02	308290	9628717	COSAMA	16:10	102,00	27,00	48,00	113,14	0-Ag-4-ArF-10-Ag-20-ArF-Ag-24-ArF-30-Arm-34-ArF-36-Ag-40-AgArf-42-ArF-Ag-44-ArF-66-Arm-68-Ag-72-ArF-84-Arm-88-ArF-94-Arm-100-ArF-Ag-102
76	TEFÉ	21/10/02	308301	9628789	COSAMA	16:25	102,00	23,00	27,00	30,00	0-Ag-2-AgArf-4-ArF-6-AgArf-8-Ag-12-AgArf com Fe-23-ArF com Fe-36-ArF-60-ArF com Fe-66-ArF-76-ArF com Fe-80-ArF-86-ArF com Fe-90-ArF-102
77	TEFÉ	21/10/02	308711	9626538	COSAMA	17:10	108,00	9,82	22,97	7,07	0-Ag-15-ArF-Ag-21-AgArf-30-Ag-36-ArF-39-Ag-75-ArF-81-Ag-87-ArF-108
78	TEFÉ	21/10/02	309680	9629381	COSAMA	17:30	88,00	18,00	48,50	88,00	0-AgArf-10-ArF-14-ArF-Ag-16-ArF-26-Ag-28-ArF-40-Arm-46-ArF-48-Arm-54-ArF-62-Arm-66-ArF-74-ArF com Fe-80-ArF-Ag com Fe -84-Ag-88
Média							93,86	19,62	38,91	59,20	
79	ALVARÃES	22/10/02	299095	9644461	COSAMA	11:30	45,00	6,00	*	18,00	0-AgArf-5-Arm-40-ArG-45
80	ALVARÃES	22/10/02	299124	9644530	COSAMA	11:50	45,00	8,00	*	9,60	0-AgArf-5-Arm-40-ArG-45
Média							45,00	7,00	-	13,80	
81	UARINI	22/10/02	259764	9669930	COSAMA	14:10	26,00	7,00	24,00	10,80	0-S-1-Ag-2-AgArf-16-ArF-26
82	UARINI	22/10/02	260033	9669760	COSAMA	15:40	32,00	8,50	*	*	0-S-1-Ag-2-AgArf-16-ArF-32
Média							29,00	7,75	24,00	10,80	

* ArL – areia com laterita; ArM- arenito Manaus; Arf – areia fina; Arm – areia média; ArG – areia grossa; ArF-Ag – areia fina com argila; AgArf – argila com areia fina; AgArG – argila com areia grossa; AgArf com Fe – argila com areia fina com ferro; Arf com Fe – areia fina com ferro; ArF-Ag com Fe – areia com argila com ferro; ArF-Ag com Fe – areia com argila com ferro; ArC – areia conglomerática; Ag – argila, argilito; S – solo; C – cascalho ou concreção ferruginosa. ¹ Profundidade; ² Nível Estático; ³ Nível Dinâmico.

* Dados inexistentes.

Tabela 02. Valores das variáveis analisadas nas águas subterrâneas nas cidades de Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo e Manaus – AM

AMOSTRA/ POÇO	Temp Amb.(°C)	Temp H ₂ O.(°C)	pH	Eh (mV)	Cond. (µS/cm)	Alcal. mgHCO ₃ .L ⁻¹	Turb. UNT	Dureza (mg.L ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	K ⁺ (mg.L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	PO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	Fett (mg.L ⁻¹)	Fe ³⁺ (mg.L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (mg.L ⁻¹)
01	31,0	30,0	3,5	+36	128,9	-	0,5	12,33	<0,020	2,69	12,9	3,2	1,06	<0,001	<1,0	3,491	<0,005	<0,10	0,072	<0,005	*
02	30,0	30,0	5,1	+46	100,3	56,3	0,5	41,92	5,67	5,72	3,2	18,5	1,28	0,067	1,89	0,060	<0,005	<0,10	0,042	<0,005	*
03	30,0	30,0	5,1	+32	113,1	58,0	0,5	40,85	6,42	5,03	4,8	19,7	1,35	0,098	<1,0	0,057	<0,005	<0,10	0,052	<0,005	*
04	31,0	29,5	4,8	+27	76,2	46,0	0,6	21,4	2,72	3,01	8,6	10	1,14	0,232	<1,0	0,023	<0,005	<0,10	0,083	<0,005	*
05	31,5	29,5	4,9	+35	87,2	50,0	0,5	31,15	4,14	4,30	4,3	16,6	0,99	0,101	<1,0	0,037	<0,005	<0,10	0,123	<0,005	*
06	30,5	30,0	5,0	+31	100,6	54,0	0,5	29,86	4,97	3,51	7,9	15,3	1,14	0,097	<1,0	0,075	<0,005	<0,10	0,021	<0,005	*
07	31,5	29,0	4,9	+30	81,4	50,0	1,6	29,19	4,12	3,88	8,2	7,4	1,06	0,161	<1,0	<0,010	<0,005	<0,10	0,012	<0,005	*
Média	30,78	29,71	-	+33,8	98,24	44,91	0,67	29,53	4,01	4,02	7,13	12,96	1,15	0,11	1,13	0,62	0,005	0,10	0,06	<0,005	*
08	28,5	29,0	3,7	+35	66,1	-	0,6	14,73	0,43	2,96	4,2	1,3	1,28	0,110	<1,0	0,171	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
09	28,0	29,0	5,2	+38	57,1	20,13	0,3	13,439	2,468	1,439	1,9	9,0	1,349	0,014	<1,0	0,658	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
10	28,5	29,0	5,8	+28	92,1	42,70	0,3	26,878	5,739	2,392	1,4	14,5	0,852	0,014	<1,0	0,186	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
11	28,0	29,0	3,9	+26	20,4	-	0,3	23,540	4,024	2,703	1,5	9,7	1,065	<0,001	<1,0	0,447	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
12	27,5	29,0	4,9	+28	26,9	6,71	0,6	10,101	1,266	1,439	0,8	3,5	1,136	<0,001	<1,0	0,407	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
13	27,0	28,5	5,5	+25	64,9	30,50	0,7	21,182	3,799	2,324	1,7	10,3	1,420	<0,001	<1,0	0,488	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
14	27,0	28,5	4,6	+23	3,86	0,61	0,4	5,162	0,673	0,719	0,5	0,9	1,491	<0,001	<1,0	0,067	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
15	27,0	28,5	5,5	+41	109,2	53,07	32,0	44,811	3,224	4,804	1,2	13,7	1,136	0,001	<1,0	0,176	<0,005	<0,10	0,072	0,016	*
Média	27,57	28,79	-	+28,85	53,49	25,62	0,43*	20,73	3,03	2,26	1,29	8,80	1,21	0,01	1,0	0,35	0,005	0,10	0,01	0,01	*
16	31,0	28,5	4,6	+28	60,4	6,71	0,3	6,586	0,881	0,93	7,1	2,8	7,100	0,001	<1,0	0,824	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
17	30,0	28,5	4,1	+82	66,3	-	0,2	7,387	1,090	0,98	7,3	1,1	5,538	0,001	<1,0	3,660	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
18	27,5	28,5	4,2	+72	22,1	-	1,7	6,185	1,378	0,53	1,0	0,2	1,207	0,001	<1,0	0,779	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
Média	29,5	28,5	-	60,66	49,6	6,71	0,733	6,719	1,090	0,813	5,13	1,36	4,612	0,001	<1,0	1,754	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	*
19	32,0	27,0	3,9	+67	17,78	-	2,4	1,246	0,224	0,136	2,0	0,6	0,994	0,025	<1,0	0,470	<0,005	<0,10	0,326	<0,005	6,638
20	32,0	27,0	3,7	+71	16,98	-	0,5	1,157	0,096	0,194	1,0	0,3	0,781	0,133	<1,0	0,406	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	8,059
Média	32,0	27,0	-	+69	17,38	-	1,45	1,201	0,160	0,165	1,50	0,45	0,887	0,079	<1,0	0,438	<0,005	<0,10	0,165	<0,005	7,348
21	30,0	29,0	4,5	+84	52,50	0,60	0,5	12,460	1,844	1,604	1,0	8,0	0,994	0,008	<1,0	0,065	<0,005	<0,10	0,062	0,039	17,786
22	31,0	29,0	4,6	+76	21,40	3,05	0,4	2,180	0,224	0,340	0,6	5,5	0,994	0,005	<1,0	0,052	<0,005	<0,10	0,048	0,047	17,376
23	32,0	28,5	4,4	+80	31,80	0,01	0,2	3,560	0,256	0,622	2,3	4,4	1,917	0,005	<1,0	0,771	<0,005	<0,10	0,048	0,046	16,839
24	32,0	28,5	4,3	+74	12,93	-	0,3	2,714	0,417	0,340	0,7	0,1	1,207	0,002	<1,0	0,066	<0,005	<0,10	0,048	0,046	5,027
25	28,0	28,0	4,4	+76	16,90	0,01	0,4	1,379	0,320	0,107	1,8	1,2	1,065	<0,001	<1,0	0,526	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	20,112
26	29,0	29,5	5,4	+80	68,70	39,65	0,9	13,884	1,186	2,314	36,5	5,5	0,994	<0,001	<1,0	0,022	<0,005	<0,10	0,035	<0,005	20,123
27	30,0	29,0	5,6	+79	78,90	38,43	4,5	25,098	6,557	1,507	1,5	5,0	0,994	0,001	<1,0	0,159	<0,005	<0,10	0,008	<0,005	18,386
28	33,0	29,0	4,5	+76	22,80	0,01	0,2	2,136	0,481	0,175	2,4	0,9	2,485	0,002	<1,0	0,679	0,024	<0,10	<0,005	<0,005	9,954
29	32,0	30,5	3,8	+83	119,80	-	0,3	11,659	2,565	0,992	7,3	4,5	9,727	<0,001	<1,0	3,145	<0,005	1,29	<0,005	<0,005	11,280
30	30,5	27,5	4,5	+58	17,41	-	0,3	1,112	<0,020	0,243	1,4	1,4	1,420	0,002	<1,0	0,151	<0,005	<0,10	0,082	<0,005	8,059
31	27,5	26,5	5,0	+76	19,65	1,22	1,4	1,780	0,208	0,262	0,7	4,5	1,491	0,002	<1,0	0,030	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	17,565
32	29,5	27,0	5,4	+79	28,90	4,88	0,4	3,204	0,304	0,515	0,8	8,0	0,923	0,002	<1,0	0,097	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	18,607
33	28,5	27,0	5,3	+77	31,70	6,10	0,4	3,515	0,369	0,544	0,8	8,9	1,136	0,004	<1,0	0,038	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	-
34	30,0	29,5	4,3	+77	29,00	0,01	0,4	1,157	0,128	0,175	3,8	0,4	3,408	0,003	<1,0	0,447	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	10,301
35	26,0	25,5	5,7	+82	34,80	15,86	0,25	6,052	0,753	0,807	0,7	10,4	1,207	0,022	<1,0	0,043	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	17,439
36	26,0	25,0	4,4	+68	11,33	0,01	1,2	1,691	0,128	0,292	1,7	0,4	1,420	<0,001	<1,0	0,049	<0,005	<0,10	0,261	<0,005	7,806
37	28,0	27,0	4,5	+77	41,61	0,01	0,2	3,604	0,304	0,603	3,5	6,2	3,834	<0,001	<1,0	1,523	<0,005	<0,10	0,629	<0,005	15,670
38	28,0	27,0	4,2	+64	10,22	-	0,2	1,112	0,160	0,146	0,2	0,1	1,207	<0,001	<1,0	0,024	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	5,153
39	22,0	25,0	5,1	+84	45,10	10,98	1,4	5,251	0,513	0,836	3,2	10,3	3,337	<0,001	<1,0	1,331	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	18,639
40	22,0	25,0	4,9	+75	23,80	7,93	0,3	2,937	0,272	0,476	0,6	8,2	1,491	<0,001	<1,0	0,147	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	17,786
41	26,0	25,0	4,4	+74	14,60	0,61	0,6	1,913	0,272	0,253	0,3	2,2	1,349	<0,001	<1,0	0,052	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	14,375
42	27,0	26,0	4,8	+79	33,60	7,93	0,3	2,892	0,176	0,525	1,9	9,2	2,485	<0,001	<1,0	0,50	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	16,933
43	31,0	27,5	4,7	+70	26,90	7,32	0,4	2,803	0,513	0,301	0,7	9,7	1,491	0,007	<1,0	0,040	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	16,933
44	32,0	28,0	4,1	+70	22,50	-	0,3	0,890	<0,020	0,194	2,3	0,2	2,059	0,002	<1,0	0,532	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	6,669
Média	28,79	27,40	-	+75,75	34,04	6,05	0,66	4,79	0,781												

Tabela 02a. Valores das variáveis analisadas nas águas subterrâneas nas cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos e Urucará - AM

AMOSTRA/ POÇO	Temp Amb.(°C)	Temp H ₂ O.(°C)	pH	Eh (mV)	Cond. (µS.cm ⁻¹)	Alcal. mgHCO ₃ .L ⁻¹	Turb. UNT	Dureza (mg.L ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	K ⁺ (mg.L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	PO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	Fett (mg.L ⁻¹)	Fe ⁺³ (mg.L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (mg.L ⁻¹)
45	31,0	29,5	3,2	*	31,0	-	0,3	7,56	1,28	0,87	2,5	1,5	2,34	<0,001	<1,0	2,446	<0,005	<0,10	0,059	0,045	6,60
46	31,0	29,5	3,0	*	46,0	-	0,3	4,23	0,27	0,76	3,0	1,1	2,77	<0,001	<1,0	2,114	<0,005	<0,10	0,125	0,045	6,28
47	33,0	29,0	3,5	*	264,0	-	0,2	20,25	4,39	1,76	17,3	7,0	24,07	<0,001	<1,0	12,546	<0,005	0,527	0,037	<0,005	7,73
48	32,0	29,0	3,3	*	67,4	-	0,2	4,23	<0,020	0,22	5,7	0,8	5,11	<0,001	<1,0	2,946	<0,005	<0,10	0,037	<0,005	6,85
49	34,0	28,5	4,0	*	21,6	-	0,2	2,54	<0,020	0,55	1,3	0,2	1,56	<0,001	<1,0	0,584	<0,005	<0,10	0,030	<0,005	8,14
50	33,0	28,5	3,6	*	123,8	-	0,2	3,87	0,19	0,73	11,0	1,0	10,86	<0,001	<1,0	2,594	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	8,09
Média	32,33	29,00	-	*	92,30	-	0,23	7,11	1,09	0,82	6,80	1,93	7,785	<0,001	<1,0	3,872	<0,005	0,171	0,049	0,018	7,28
51	35,0	28,5	4,1	*	16,4	-	0,3	2,27	0,19	0,38	1,5	4,1	0,85	<0,001	<1,0	0,051	<0,005	<0,10	0,081	<0,005	13,23
52	35,0	28,5	4,1	*	12,2	-	0,2	2,36	0,19	0,40	1,3	2,7	1,14	<0,001	<1,0	0,057	<0,005	<0,10	0,030	<0,005	10,91
Média	35,00	28,50	-	*	14,30	-	0,25	2,315	0,19	0,39	1,4	3,40	0,995	<0,001	<1,0	0,054	<0,005	<0,1	0,05	<0,005	12,07
53	32,0	28,0	4,2	*	11,1	-	2,3	3,827	0,465	0,57	0,7	0,1	1,207	<0,001	<1,0	0,139	<0,005	<0,10	0,099	0,063	7,96
54	30,0	28,5	4,2	*	19,6	-	4,2	4,583	0,785	0,525	0,8	0,1	0,850	<0,001	<1,0	0,177	<0,005	<0,10	0,092	<0,005	6,09
55	28,5	28,5	4,3	*	122,0	-	0,2	7,476	1,315	0,836	11,0	3,2	13,987	<0,001	<1,0	6,218	<0,005	1,811	<0,005	<0,005	4,13
56	29,0	28,5	4,2	*	21,3	-	0,7	1,112	0,208	0,117	3,3	0,1	1,917	<0,001	<1,0	0,841	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	4,87
57	28,5	28,0	4,2	*	16,4	-	0,2	0,578	0,000	0,126	1,5	0,1	1,562	<0,001	<1,0	0,448	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	4,97
58	29,0	28,5	4,2	*	14,2	-	0,4	0,979	0,240	0,068	0,9	0,2	1,065	0,007	<1,0	0,196	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	8,14
Média	29,50	28,33	-	*	34,10	-	1,33	3,093	0,502	0,374	3,03	0,63	3,431	0,001	<1,0	1,337	<0,005	0,385	0,035	0,015	6,02
59	29,0	28,0	4,1	*	14,4	-	0,3	0,801	0,144	0,087	0,8	0,1	1,065	<0,001	<1,0	0,131	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	7,45
60	30,0	28,0	4,2	*	12,8	-	0,2	1,112	0,096	0,185	0,9	0,1	1,065	<0,001	<1,0	0,180	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	6,93
Média	29,5	28,00	-	*	13,60	-	0,25	0,960	0,120	0,136	0,85	0,1	1,065	<0,001	<1,0	0,155	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	7,19
61	32,0	28,5	4,2	*	50,3	-	0,2	1,25	0,020	0,27	8,7	0,3	3,69	<0,001	<1,0	2,409	<0,005	<0,10	0,109	<0,005	8,74
62	33,0	28,5	4,5	*	12,1	0,61	0,3	1,38	0,020	0,30	1,0	0,2	1,21	<0,001	<1,0	0,177	<0,005	<0,10	0,120	<0,005	8,75
63	32,5	28,5	5,0	*	9,8	1,22	0,2	1,16	0,130	0,17	1,1	0,2	1,42	<0,001	<1,0	0,176	<0,005	<0,10	0,233	<0,005	11,44
64	32,0	28,0	5,0	*	9,2	1,83	0,2	1,38	0,100	0,24	1,4	0,7	1,42	<0,001	<1,0	0,116	<0,005	<0,10	0,120	<0,005	8,35
65	32,5	28,0	4,8	*	12,9	1,22	0,3	1,42	0,080	0,26	2,7	0,7	2,48	0,005	<1,0	0,039	<0,005	<0,10	0,114	<0,005	3,45
66	32,0	28,5	5,0	*	16,4	1,83	0,4	2,98	0,220	0,51	1,1	4,0	1,06	0,003	<1,0	0,153	<0,005	<0,10	0,126	<0,005	19,74
67	32,0	28,5	4,2	*	22,8	-	0,3	1,47	0,020	0,32	1,7	0,3	1,49	<0,001	<1,0	0,618	<0,005	<0,10	0,109	<0,005	10,74
68	33,0	28,5	5,0	*	17,1	1,22	0,3	0,93	0,020	0,20	0,9	0,7	1,42	<0,001	<1,0	0,300	<0,005	<0,10	0,120	<0,005	7,95
Média	32,38	28,38	-	*	18,83	0,99	0,28	1,50	0,08	0,28	2,33	0,89	1,77	0,002	<1,0	0,499	<0,005	<0,10	0,131	<0,005	9,89

* Dados inexistentes.

Tabela 02b. Valores das variáveis analisadas nas águas subterrâneas nas cidades de São Sebastião do Uatumã, Tefé, Alvarães e Uarini - AM

AMOSTRA	Temp Amb.(°C)	Temp H ₂ O(°C)	pH	Eh (mV)	Cond. (µS.cm ⁻¹)	Alcal. mgHCO ₃ .L ⁻¹	Turb. UNT	Dureza (mg.L ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	K ⁺ (mg.L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	PO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	Fett (mg.L ⁻¹)	Fe ³⁺ (mg.L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (mg.L ⁻¹)	
69	*	*	6,1	*	36,3	15,25	0,3	10,32	2,48	0,73	1,4	7,2	1,06	<0,001	<1,0	0,135	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	<0,005	*
70	*	*	6,0	*	36,8	15,25	0,3	9,21	0,58	1,15	1,1	7,1	1,28	<0,001	<1,0	0,132	<0,005	0,107	<0,005	<0,005	<0,005	*
71	*	*	6,1	*	36,4	15,86	7,6	10,63	1,07	1,62	1,1	7,0	1,35	<0,001	<1,0	0,116	<0,005	<0,10	1,97	<0,005	<0,005	*
Média	*	*	6,07	*	36,5	15,45	0,3*	10,05	1,38	1,17	1,2	7,10	1,23	<0,001	<1,0	0,130	<0,005	0,102	0,66	<0,005	<0,005	*
72	37,5	29,5	5,4	+201	54,0	14,03	0,7	347,10	49,17	46,03	3,4	2,9	5,04	<0,001	<1,0	1,850	<0,005	<0,10	0,107	<0,005	14,07	
73	37,5	29,0	5,7	+194	31,7	17,69	0,4	3,75	0,90	0,27	3,9	2,3	1,13	<0,001	<1,0	0,230	<0,005	<0,10	0,037	<0,005	15,32	
74	37,0	29,0	5,8	+194	39,2	24,40	0,5	7,79	1,73	0,65	4,1	2,3	1,42	<0,001	<1,0	0,080	<0,005	0,17	0,055	<0,005	15,88	
75	37,0	29,0	5,9	+194	51,8	34,77	1,0	303,93	27,80	49,56	6,5	3,3	1,13	<0,001	<1,0	0,010	<0,005	0,75	1,070	<0,005	15,48	
76	37,0	29,0	5,8	+200	48,8	29,89	8,3	267,04	23,58	44,05	6,5	3,0	0,78	<0,001	<1,0	0,030	<0,005	0,25	0,220	<0,005	15,48	
77	33,0	29,5	5,5	+189	22,0	13,42	0,4	2,62	0,38	0,34	2,4	3,3	0,64	<0,001	<1,0	0,070	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	15,48	
78	31,0	28,5	5,6	+200	27,4	15,86	0,3	3,16	0,17	0,58	3,2	3,0	0,99	<0,001	<1,0	0,150	<0,005	0,34	0,011	<0,005	15,09	
Média	35,71	29,07	-	+196	39,27	21,44	0,55*	133,63	14,82	20,21	4,29	2,87	1,59	<0,001	<1,0	0,350	<0,005	0,26	0,220	<0,005	15,25	
79	35,0	29,0	5,3	+193	28,7	6,71	0,4	2,89	0,69	0,21	3,3	0,9	5,61	<0,001	<1,0	0,530	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	12,71	
80	35,0	29,0	5,2	+195	22,6	5,59	0,3	2,85	0,25	0,47	2,6	1,0	3,41	<0,001	<1,0	0,560	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	12,15	
Média	35,0	29,0	-	+194	25,65	6,15	0,35	2,87	0,47	0,34	2,95	0,95	4,51	<0,001	<1,0	0,545	<0,005	<0,10	<0,005	<0,005	12,43	
81	37,0	29,0	4,8	+197	26,7	3,66	0,2	0,62	0,09	0,08	3,3	1,3	1,92	<0,001	<1,0	1,320	<0,005	0,18	0,055	<0,005	12,60	
82	37,0	29,0	4,8	+207	11,5	4,88	0,2	0,66	0,09	0,09	1,3	1,0	1,13	<0,001	<1,0	0,210	<0,005	<0,10	0,011	<0,005	12,20	
Média	37,0	29,0	-	+202	19,10	4,27	0,2	0,64	0,09	0,08	2,3	1,15	1,52	<0,001	<1,0	0,76	<0,005	0,14	0,33	<0,005	12,40	

* Dados inexistentes; * Média excetuando o maior valor (anômalo).

5.16 Características e classificação das águas de acordo com os cátions e ânions dissolvidos

Em Itacoatiara, de acordo com o diagrama de Schoeller (1962), os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, enquanto que os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$. O poço nº 01 apresentou característica de baixa concentração de Ca^{2+} e HCO_3^- em relação aos poços amostrados, com seqüência de $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ (Figura 52).

Do ponto de vista dos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas, em sua maioria, são potássicas, ocorrendo duas delas com caráter misto (calco-potássica). Quanto aos ânions dissolvidos, nota-se que o bicarbonato é predominante. Dessa forma, a água do poço nº 01 foi classificada como cloro-sulfatada sódica, dos poços nº 02 e 03 de bicarbonatadas cálcicas e dos poços nº 04, 05, 06 e 07 de bicarbonatadas potássicas (Figura 53).

Em Rio Preto da Eva, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$, enquanto que os ânions apresentaram $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ (Figura 52).

De acordo com os cátions e ânions dissolvidos, observou-se que a água amostrada é magnésiana e cloretada, respectivamente. Então, a água do poço nº 08, em Rio Preto da Eva, foi classificada como cloro-sulfatada magnésiana (Figura 53).

Para Presidente Figueiredo, os cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ no poço nº 19 e $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ no poço nº 20, enquanto que os ânions apresentaram $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$, segundo o diagrama de Schoeller (1962) (Figura 52).

Do ponto de vista dos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas são potássicas. Quanto aos ânions, constata-se que as águas são cloretadas. Dessa forma, as águas dos poços nº 19 e 20 foram classificadas como clorosulfatadas sódicas (Figura 53).

Em Manacapuru, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ para os poços nº 09 e 10, enquanto que os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ (Figura 54).

Do ponto de vista dos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas, em sua maioria, são potássicas, ocorrendo duas delas com caráter misto (calco-potássica). Quanto aos ânions dissolvidos, nota-se que o bicarbonato é predominante. Dessa forma, a água do poço nº 1 foi classificada como cloro-sulfatada sódica, dos poços nº 02 e 03 de bicarbonatada cálcica e dos poços nº 04, 05, 06 e 07 de bicarbonatada potássica (Figura 55).

Os valores dos cátions das águas amostradas em Iranduba apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ para os poços nº 16 e 17, enquanto que o poço nº 18

apresentou $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$. Os ânions apresentaram $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ para todos os poços amostrados (Figura 54).

Quanto aos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas nos poços nº 16 e 17 são sódicas e no poço nº 18 é mista. De acordo com os ânions dissolvidos, as águas foram classificadas como cloretadas, sendo assim classificadas como closulfatadas sódicas (poços 16 e 17) e closulfatada cálcica (poço nº 18) (Figura 55).

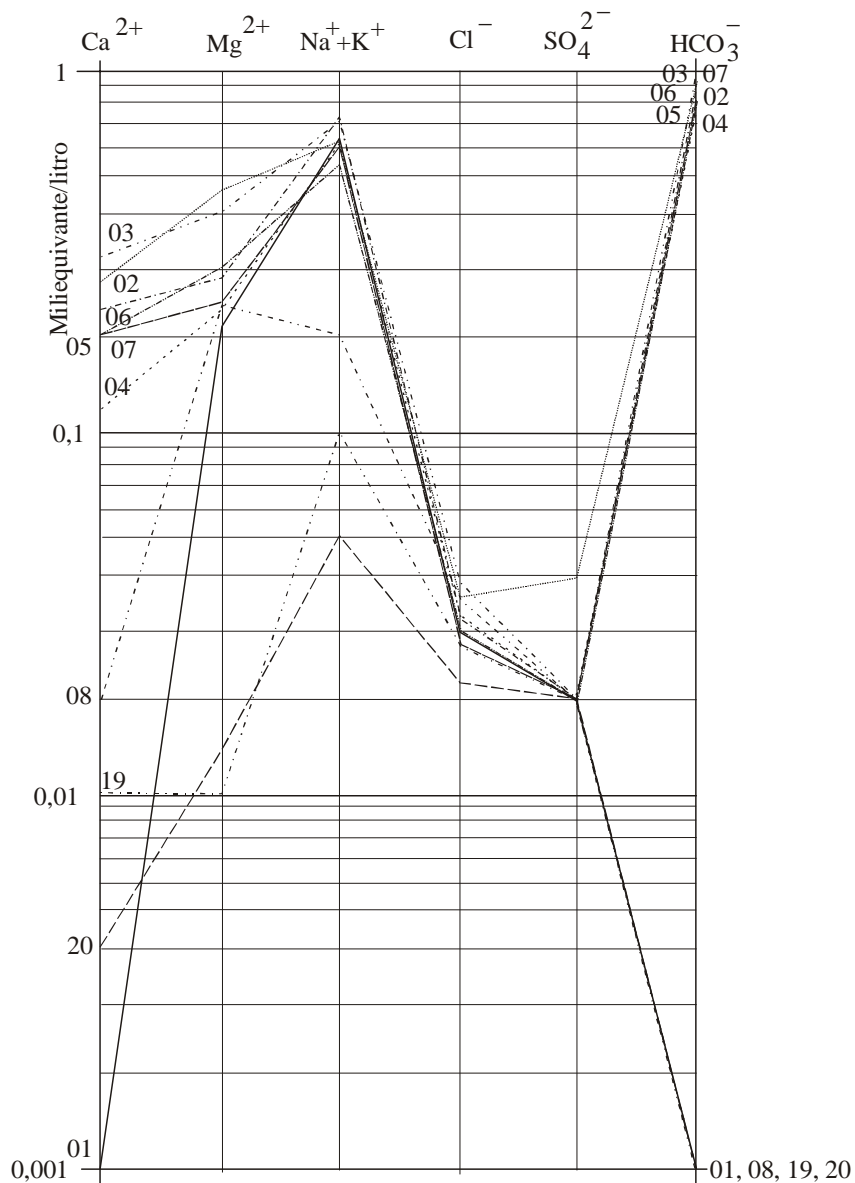


Figura 52. Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Itacoatiara (01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07), Rio Preto da Eva (08) e Presidente Figueiredo (19 e 20) do estado do Amazonas (Modificado).

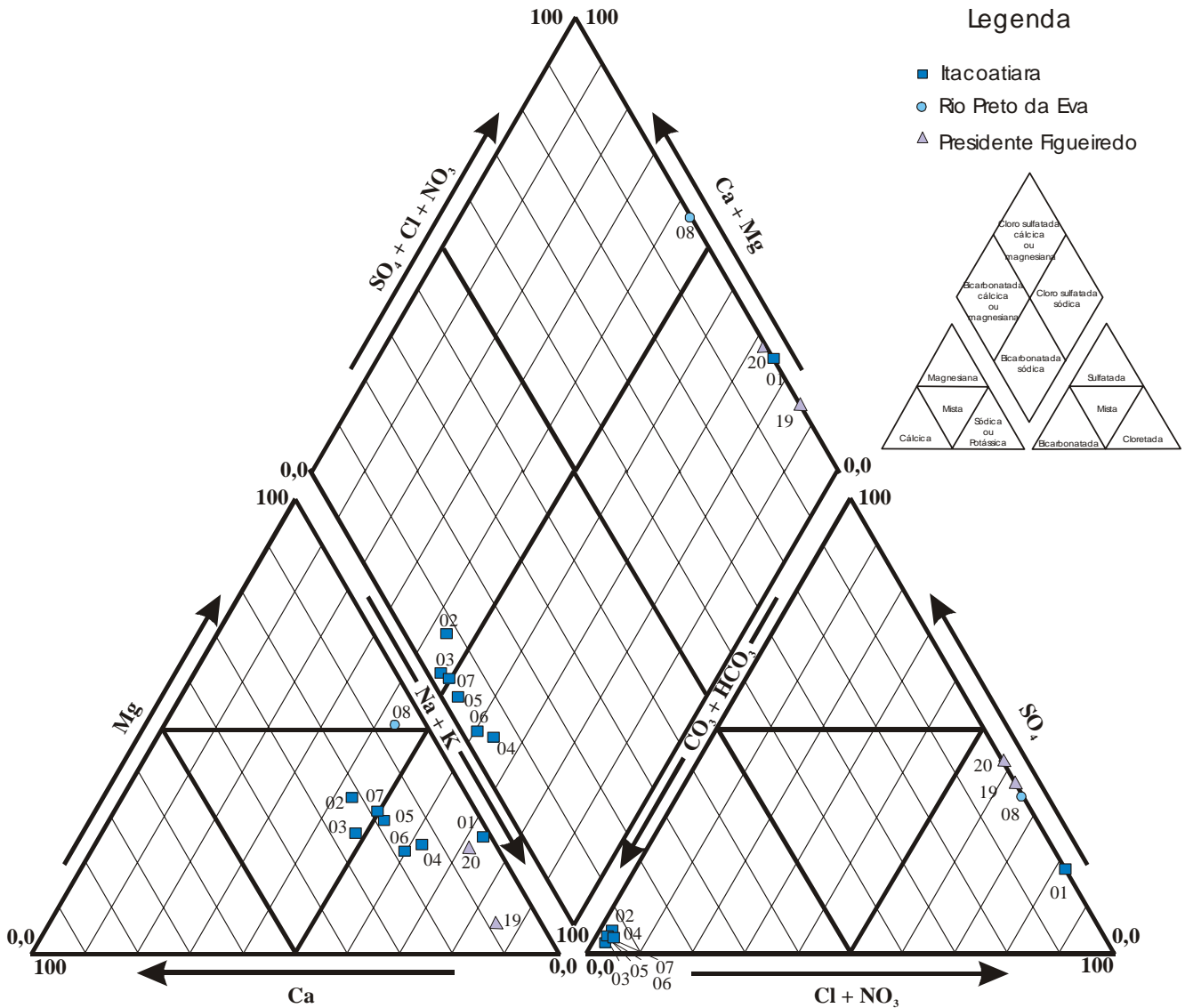


Figura 53. Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas das cidades de Itacoatiara (01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07) Rio Preto da Eva (08) e Presidente Figueiredo (19 e 20) no Estado do Amazonas (Modificado).

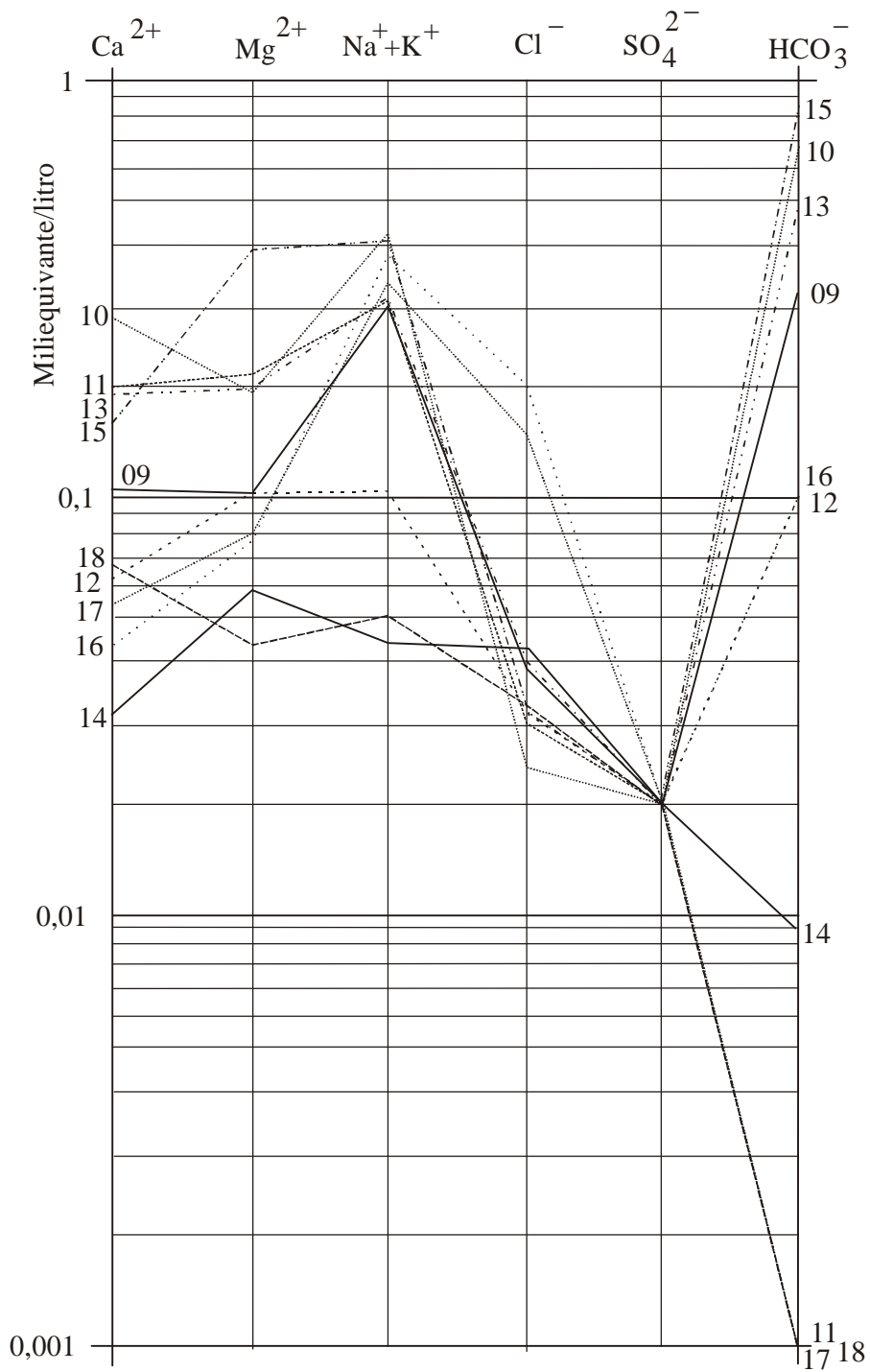


Figura 54. Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Manacapuru (09, 10, 11, 12, 13, 14 e 15) e Iranduba (16, 17 e 18) do estado do Amazonas (Modificado).

Em Manaus, do ponto de vista dos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas, em sua maioria, são potássicas, ocorrendo duas delas com caráter misto (poços nº 24 e 38) e uma cálcica (poço nº 27). Quanto aos ânions dissolvidos, nota-se que as águas amostradas apresentam-se geralmente como bicarbonatadas e cloretadas. Duas amostras apresentam caráter misto (poços nº 21 e 22) (Figura 56).

Dessa forma, as águas dos poços nº 25, 28, 34, 36 e 44 foram classificadas como cloro-sulfatadas sódicas, enquanto que as dos poços nº 23, 30, 31, 37 e 41 de cloro-sulfatadas potássicas. As águas dos poços nº 26 e 29 são bicarbonatadas sódicas e as dos poços nº 32, 33, 35, 39, 40, 42 e 43 são bicarbonatadas potássicas (Figura 57).

Para a cidade de Parintins, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ nos poços nº 45, 46, 48, 49 e 50 com apenas o poço nº 47 apresentando $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, enquanto que os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ com exceção do poço nº 49 que apresentou a seqüência $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ (Figura 58).

Do ponto de vista dos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas dos poços nº 45 e 49 são mistas e as dos poços nº 46, 47 e 48 são sódicas. Quanto aos ânions, são cloretadas. Dessa forma, a água do poço nº 45 foi classificada como cloro-sulfatada cálcica e a do poço nº 49 de cloro-sulfatada magnésiana, enquanto que as águas dos poços nº 46, 47 e 48 de cloro-sulfatadas sódicas (Figura 59).

Em Barreirinha, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, enquanto que os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ (Figura 58).

Do ponto de vista dos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas são potássicas e quanto aos ânions, são cloretadas. Então, as águas dos poços foram classificadas como cloro-sulfatadas potássicas (Figura 59).

Em Maués, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ nos poços nº 55 e 57, $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ nos poços nº 53 e 54 e $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ no poço nº 56. Os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ no poço nº 55 e $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ nos demais poços amostrados (Figura 60).

Do ponto de vista dos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas dos poços nº 53 e 54 são mistas e a dos poços nº 55, 56, 57 e 58 são sódicas. Quanto aos ânions, as águas são cloretadas. Dessa forma, as águas dos poços nº 53 e 54 foram classificadas como cloro-sulfatadas cálcicas a dos poços nº 55, 56, 57 e 58 de cloro-sulfatadas sódicas (Figura 61).

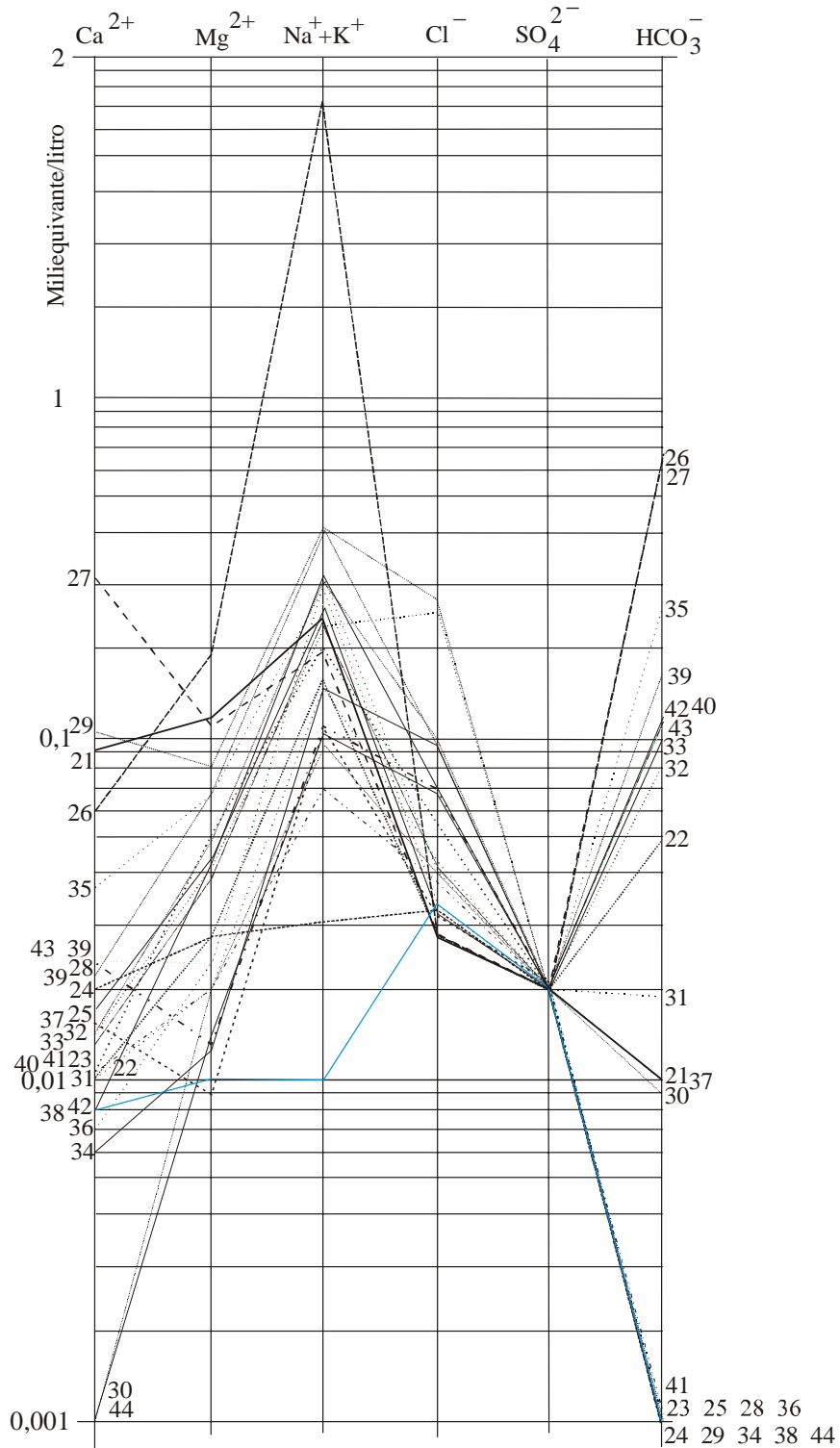


Figura 56. Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas na cidade de Manaus no Estado do Amazonas (Modificado).

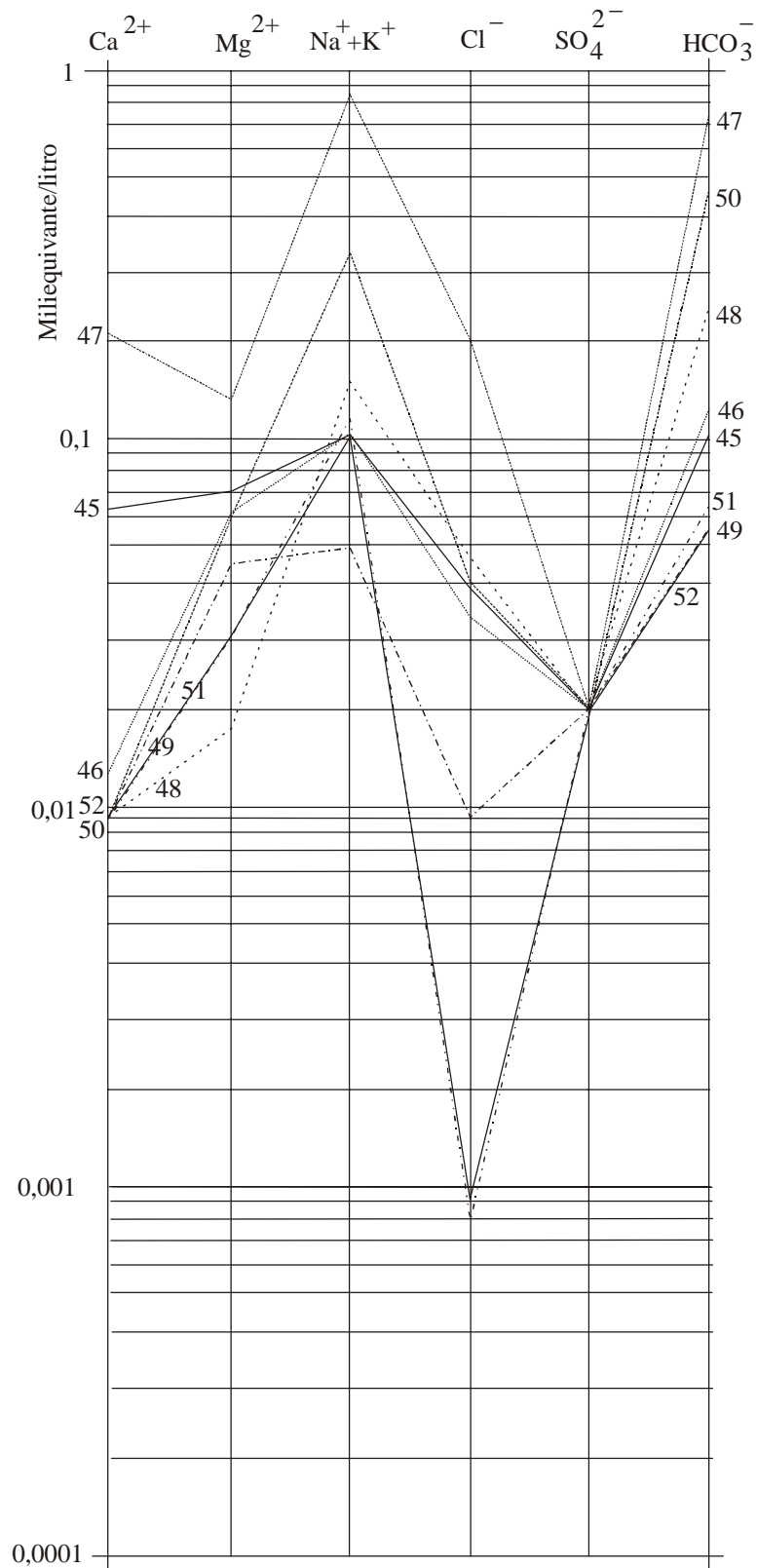


Figura 58. Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Parintins (45, 46, 47, 48, 49 e 50) e Barreirinha (51 e 52) do estado do Amazonas (Modificado).

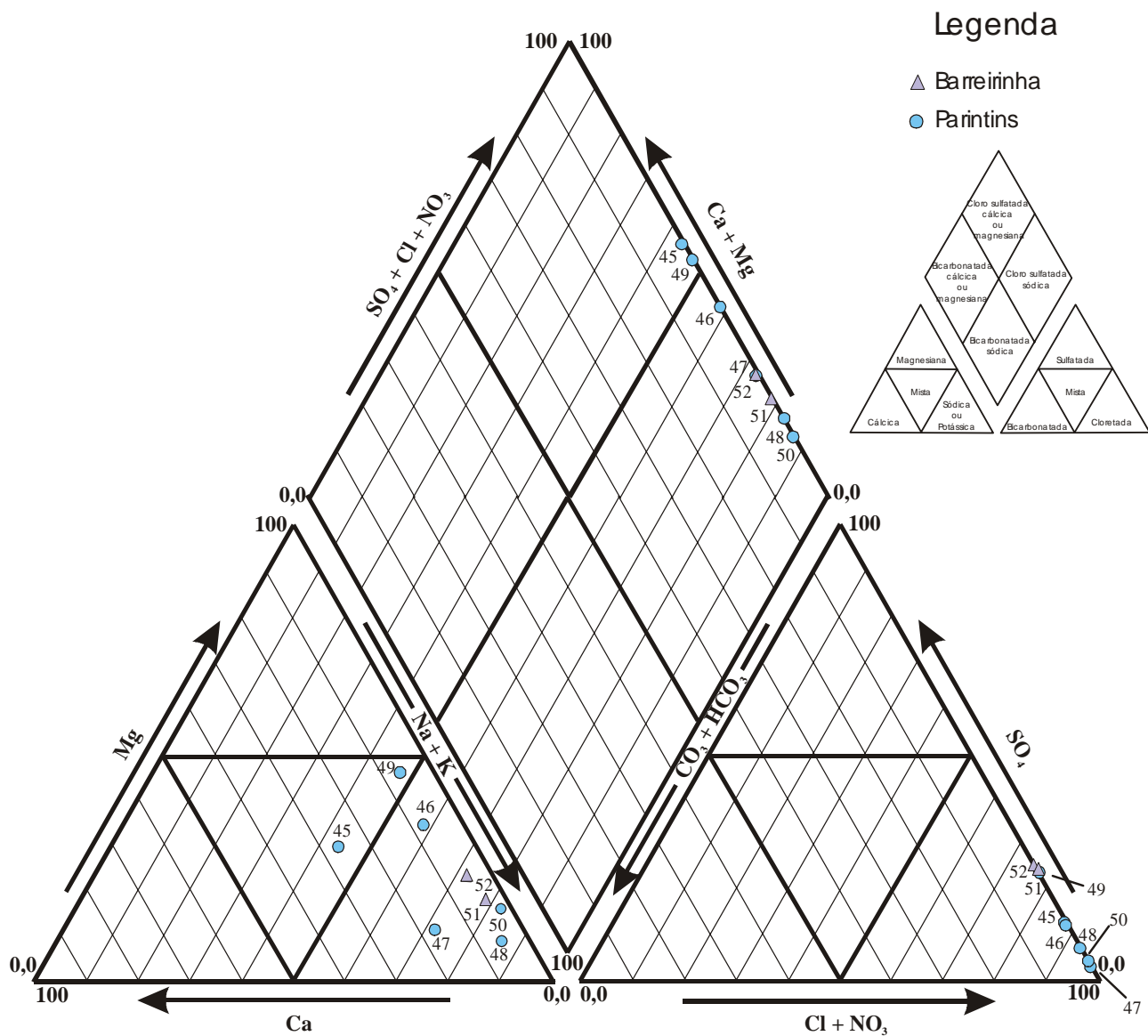


Figura 59. Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas nas cidades de Parintins e Barreirinha do estado do Amazonas (Modificado).

Em Boa Vista do Ramos, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} = \text{Ca}^{2+}$ no poço nº 59 e $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ no poço nº 60, enquanto que os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ (Figura 60).

De acordo com os cátions e ânions dissolvidos, observou-se que as águas amostradas são sódicas e cloretadas, respectivamente. Então, as águas de Boa Vista do Ramos foram classificadas como cloro-sulfatadas sódicas (Figura 61).

Para Urucará, os cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, enquanto que os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ para a amostra nº 61 e $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ para as amostras nº 62, 63, 64, 65, 66, 67 e 68, de acordo com o diagrama de Schoeller (1962) (Figura 62).

Do ponto de vista dos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas, em sua maioria, são potássicas, ocorrendo apenas a amostra nº 66 com caráter sódica. Quanto aos ânions dissolvidos, nota-se que o bicarbonato é predominante. Dessa forma, as águas dos poços nº 61, 62, 63, 64, 65, 67 e 68 foram classificadas como clorosulfatadas potássicas, e a do poço nº 66 de clorosulfatadas sódicas (Figura 63).

Em São Sebastião do Uatumã, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ para o poço nº 69 e $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ para os poços nº 70 e 71, enquanto que os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ para todos os poços amostrados (Figura 62).

Quanto aos cátions e ânions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas nos poços nº 69, 70 e 71 são sódicas e bicarbonatadas, sendo assim classificadas de bicarbonatadas sódicas (Figura 63).

Para Tefé, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ para os poços nº 72, 75 e 76, $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ para os poços nº 73 e 74 e $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ para os poços nº 77 e 78, enquanto que os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ para todos os poços amostrados (Figura 64).

Quanto aos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas nos poços nº 72, 75 e 76 são magnesianas e classificadas como bicarbonatadas magnesianas (poços nº 75 e 76) e clorosulfatada magnesiana (poço nº 72), enquanto que nos poços nº 73, 74, 77 e 78 são bicarbonatadas sódicas. De acordo com os ânions dissolvidos, as águas são bicarbonatadas, com exceção do poço nº 72 que apresentou característica de água mista (Figura 65).

Em Alvarães, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ para o poço nº 79 e $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ para o poço nº 80, enquanto que os ânions apresentaram $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ para os poços amostrados (Figura 64).

Do ponto de vista dos cátions dissolvidos, verifica-se que as águas amostradas são sódicas e quanto aos ânions, são cloretadas com o poço nº 80 tendendo à mista. Então, as águas dos poços foram classificadas como clorosulfatadas sódicas (Figura 65).

Para Uarini, os valores dos cátions apresentaram concentrações de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, enquanto que os ânions apresentaram $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ para os poços amostrados (Figura 64).

Do ponto de vista dos ânions dissolvidos, verifica-se que as águas dos poços amostrados são sódicas e bicarbonatadas com o poço nº 81 com tendência à água mista. Dessa forma, a água do poço nº 81 foi classificada como clorosulfatada sódica e a do poço nº 82 de bicarbonatada sódica (Figura 65).

De acordo com a figura 66, geralmente os valores das concentrações de cátions e ânions encontram-se abaixo de $2,0 \text{ meq.L}^{-1}$ com predominância dos cátions. Os poços nº 27, 72, 75 e 76 apresentaram concentrações de cátions muito acima dos demais poços amostrados, em suas respectivas cidades, chegando a valores maiores que $7,0 \text{ meq.L}^{-1}$, de acordo com as tabelas 02 e 02b. Então, de acordo com as variáveis analisadas, as águas amostradas apresentam-se muito similares, apesar da grande extensão da área estudada, sendo resultado da pouca heterogeneidade geológica da área em estudo e, conseqüentemente, as cidades do estado do Amazonas encontram-se geralmente às margens dos rios da Bacia Amazônica pela facilidade de acesso.

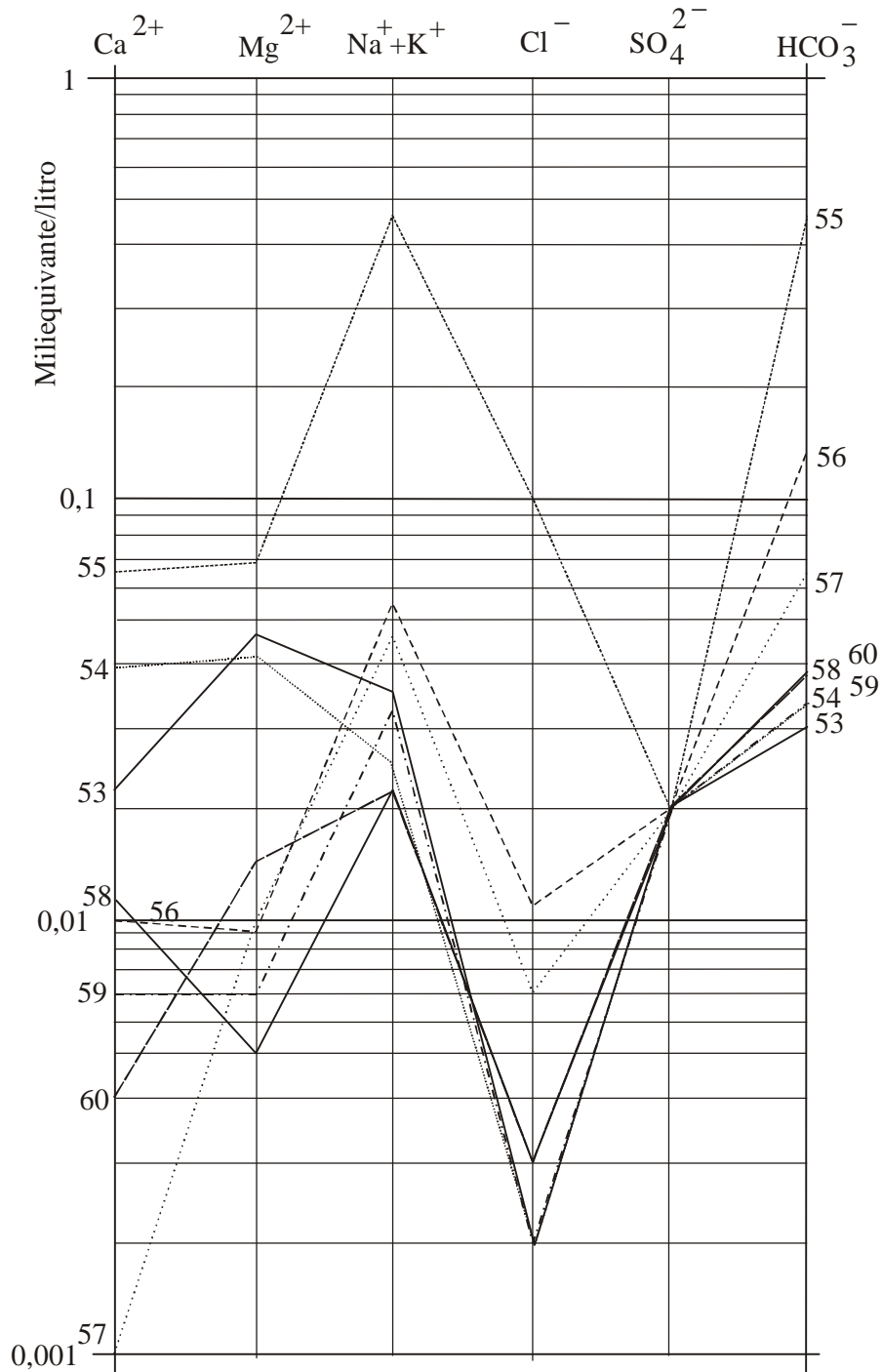


Figura 60. Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Maués (53, 54, 55, 56, 57 e 58) e Boa Vista do Ramos (59 e 60) do estado do Amazonas (Modificado).

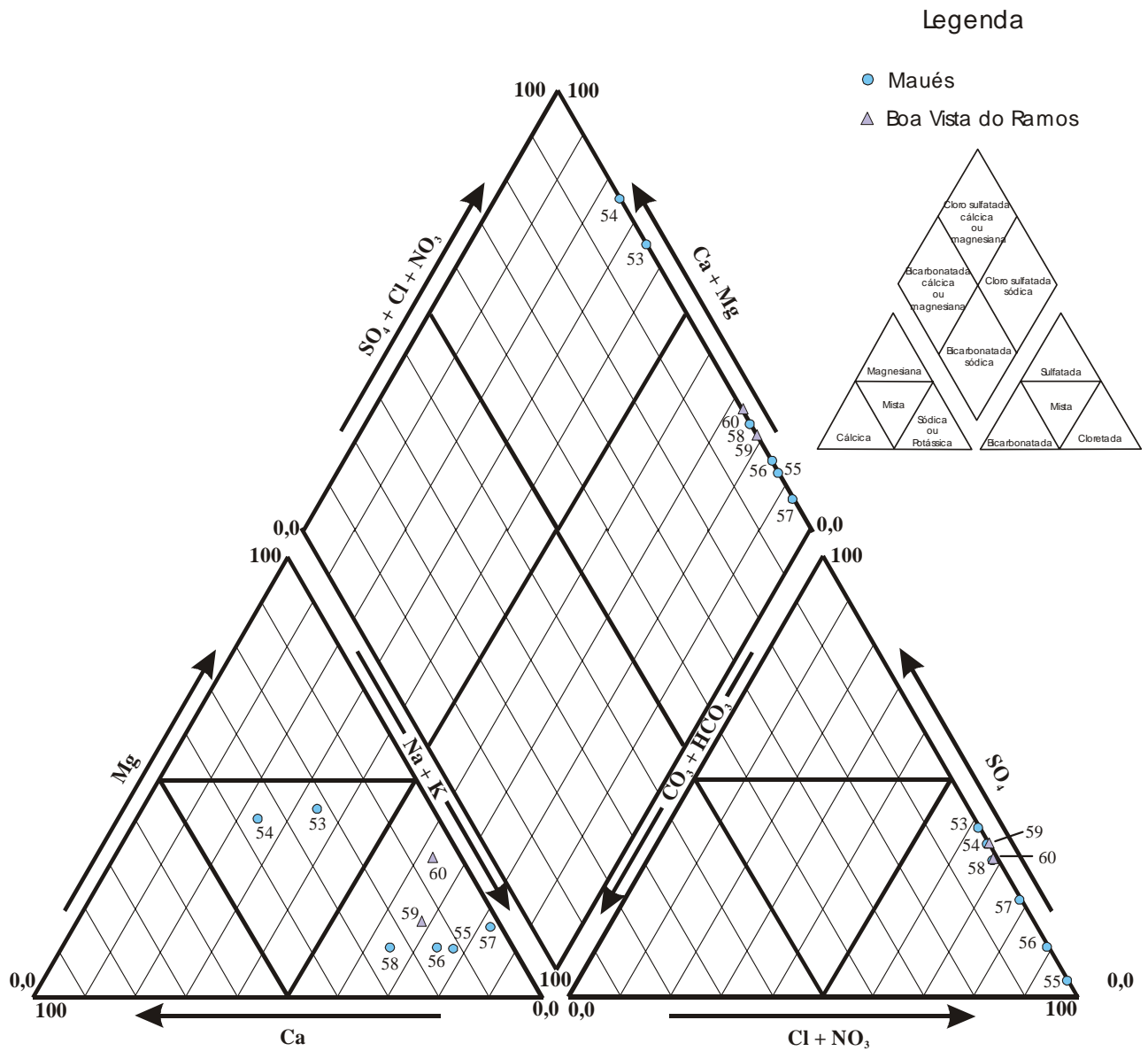


Figura 61. Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas das cidades de Maués e Boa Vista do Ramos do estado do Amazonas (Modificado).

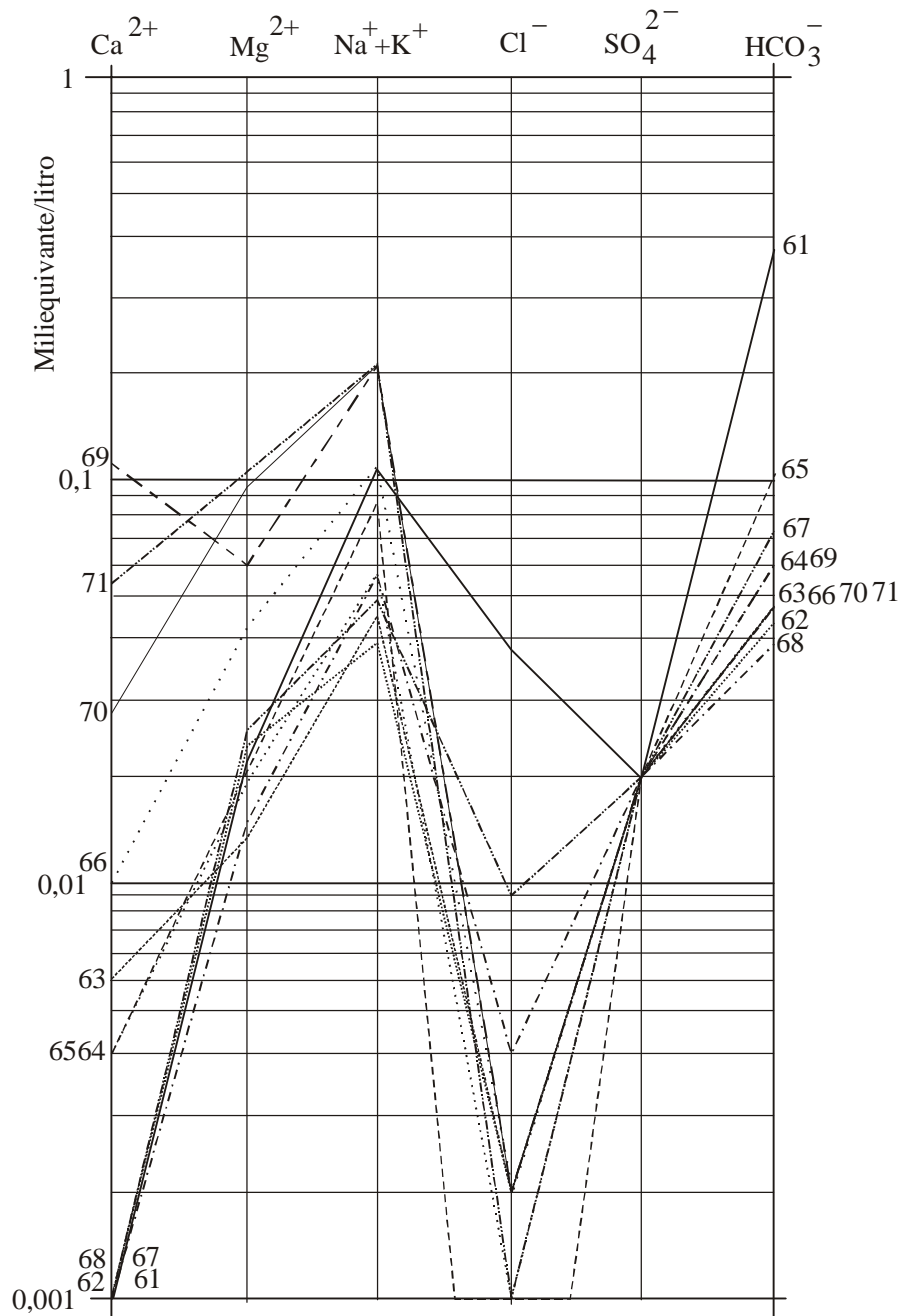


Figura 62. Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Urucará (61, 62, 63, 64, 65, 66, 67 e 68) e Sebastião do Uatumã (69, 70 e 71) do estado do Amazonas (Modificado).

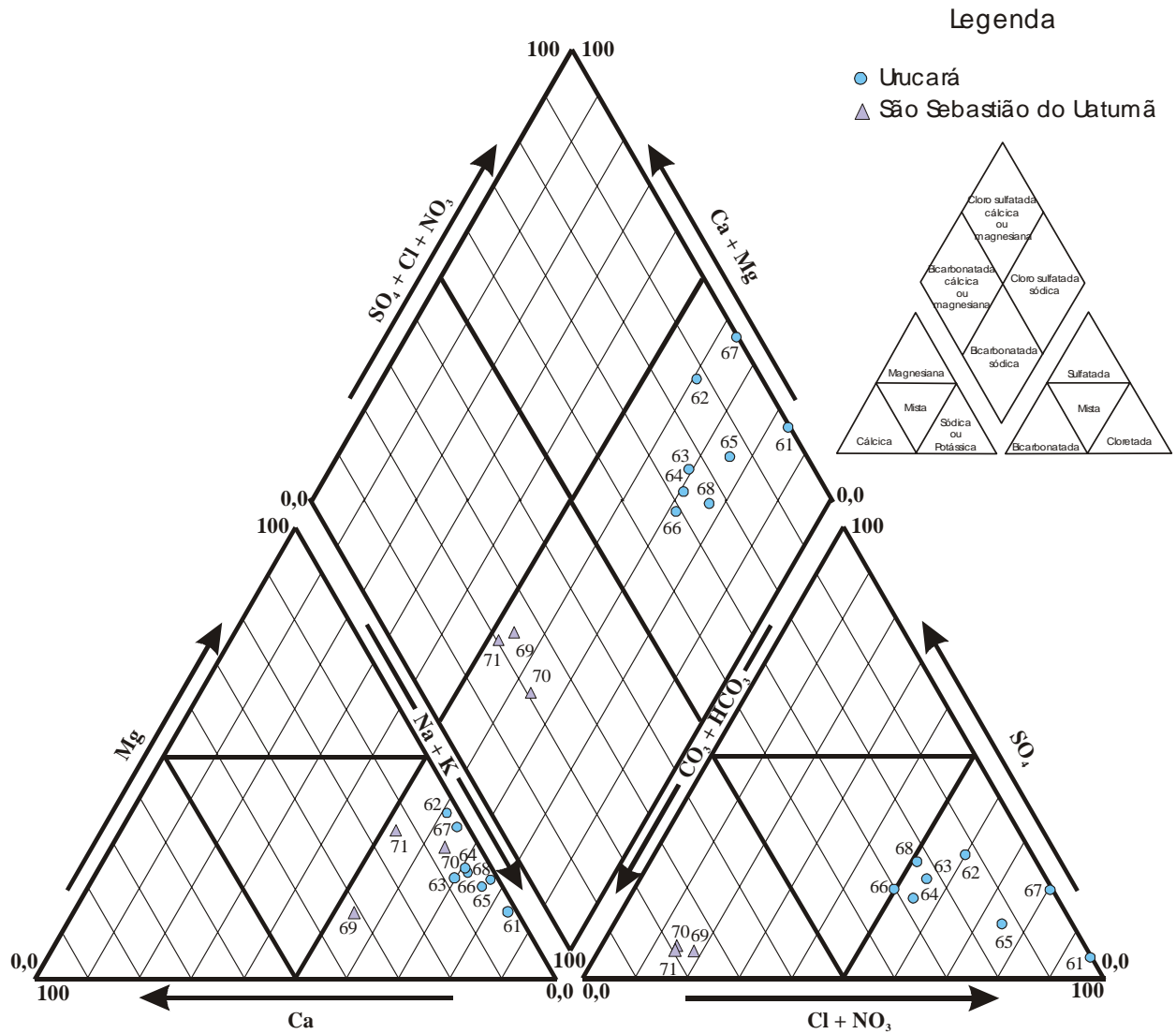


Figura 63. Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas das cidades de Urucará e São Sebastião do Uatumã do estado do Amazonas (Modificado).

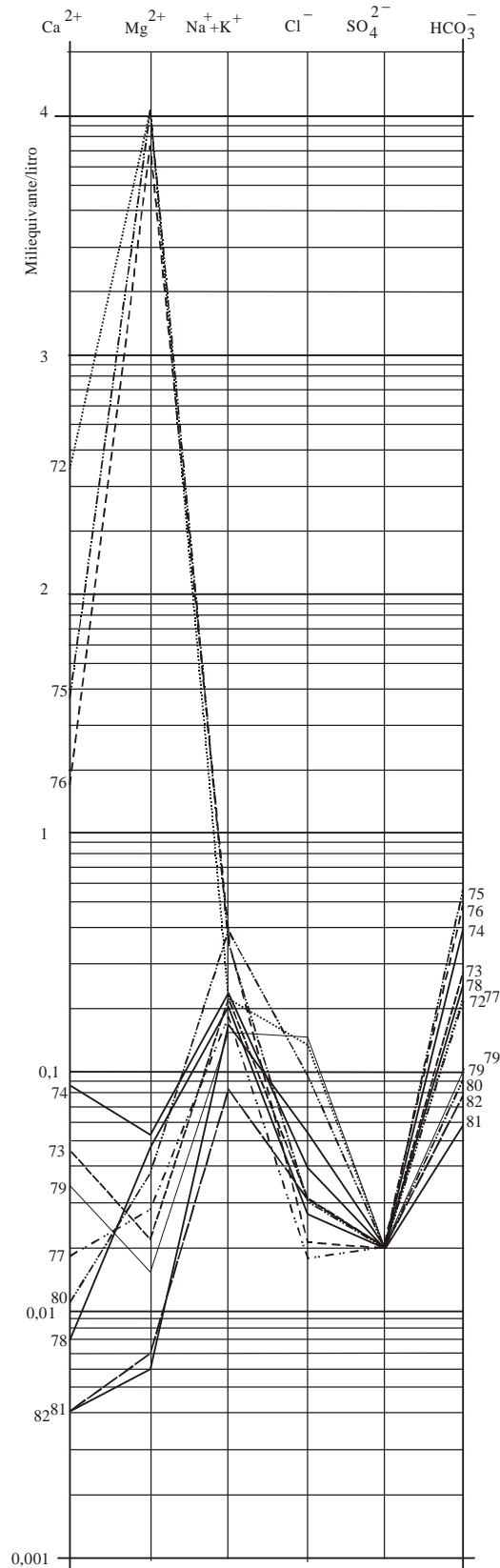


Figura 64. Diagrama de Schoeller (1962) das águas amostradas nas cidades de Tefé (72, 73, 74, 75, 76, 77 e 78), Alvarães (79 e 80) e Urini (81 e 82) do estado do Amazonas (Modificado).

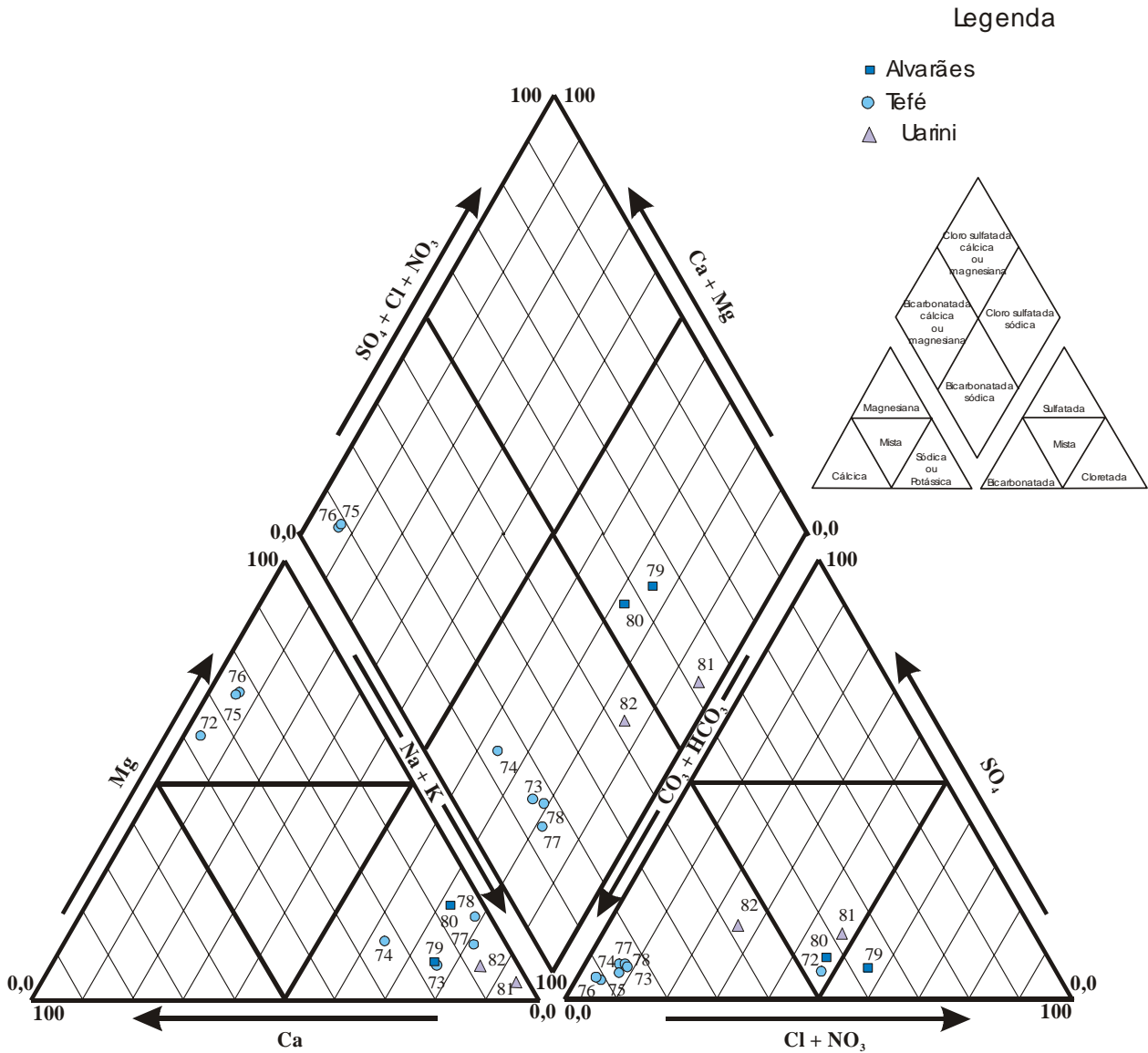


Figura 65. Diagrama de Piper (1944) das águas amostradas das cidades de Tefé, Alvarães e Uarini do estado do Amazonas (Modificado).

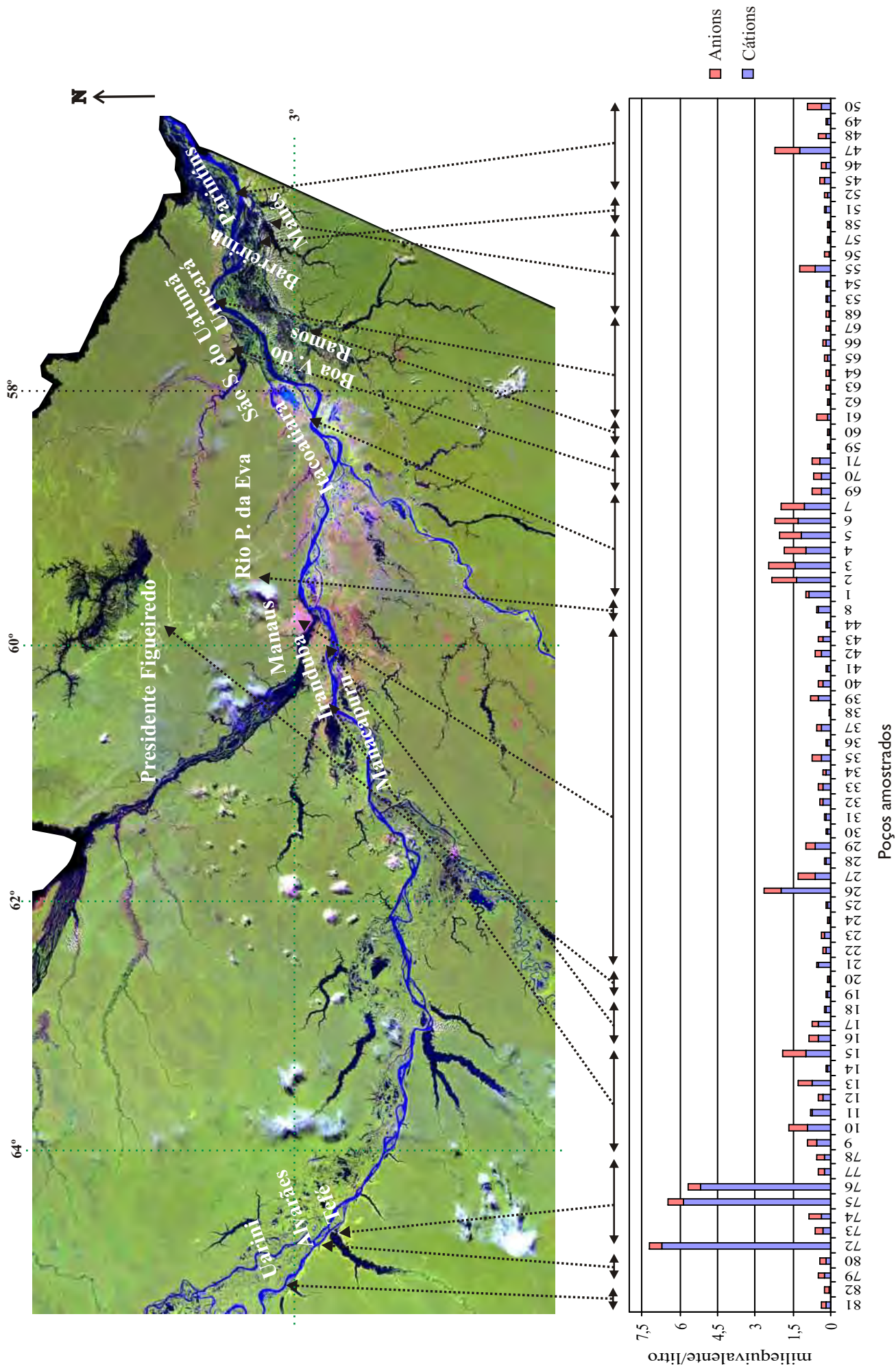


Figura 66. Distribuição dos cátions e ânions dissolvidos (mEq.L⁻¹) das águas de subsuperfície amostradas em cidades do estado do Amazonas.

7. DISCUSSÃO

7.1 Hidrogeologia

Todas as cidades visitadas no estado do Amazonas, com exceção de Manaus, adquirem água, exclusivamente, de subsuperfície para o suprimento da população, apesar de estarem, geralmente, às margens dos grandes rios. Na Amazônia, é crescente a perspectiva de exploração dessa água, por apresentar vantagens práticas e econômicas quanto à sua captação, por dispensar tratamentos químicos e ser de excelente qualidade, além de abundante, justificando sua ampla utilização no abastecimento público e industrial. Apesar das poucas informações hidrogeológicas, restritas aos aquíferos da região em estudo, estes apresentam bons índices de produtividade nos poços localizados nas áreas de Manaus, Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Parintins, Maués, Boa Vista do Ramos e Barreirinha (Tabela 01, 01a e 01b).

O nível atual do conhecimento geológico não possibilita uma abordagem mais precisa sobre a sedimentação Alter do Chão na região de Manaus e entorno, Formação Solimões e Nhamundá, sendo necessário para tal um mapeamento geológico em escala de detalhe, datações e interpretações geofísicas (CPRM, 2002a). Numa avaliação litofaciológica, Aguiar et al. (2003) individualizaram a Formação Alter do Chão em quatro principais fácies sedimentares: argilosa, areno-argilosa, arenosa e Arenito Manaus. Em seção, essas litofácies ocorrem sob forma de camadas subhorizontalizadas e com disposição geral lenticular.

De acordo com a descrição dos perfis litológicos obtidos, os poços amostrados extraem água da Formação Alter do Chão, Solimões e Nhamundá (Tabelas 01, 01a, 01b, 01c e Figura 12).

Resumidamente, as rochas da Formação Alter do Chão apresentam-se friáveis, pouco coesas, com intercalação de rochas mais endurecidas e restritas aos níveis de ocorrência do Arenito Manaus e de crostas lateríticas e/ou linhas-de-pedras (sílico ferruginosas). A Formação Solimões é constituída predominantemente por argilas com lentes de arenitos e a Nhamundá com folhelhos com intercalações de arenitos finos com laminação ondulada.

Nas Formações Alter do Chão, Solimões e Nhamundá, os perfis litológicos descrevem aquíferos livres, sendo pouco provável o semiconfinamento dos aquíferos devido às lentes confinantes serem descontínuas e por haver intenso fraturamento no Arenito Manaus. Nos perfis selecionados, se observa heterogeneidade na forma de descrevê-los, dificultando assim, uma boa compreensão da distribuição espacial dos estratos perfurados.

Manaus exhibe uma superfície topográfica marcada por colinas de topo plano que configuram uma superfície tabular, com cota média aproximada de 60 m. As colinas são interrompidas por vales de fundo chato que atingem desníveis da ordem de 30 m a 50 m e cujo gradiente de suas encostas apresenta declividade média a forte, não raro superior a 30°, configurando, deste modo, áreas de risco à ocupação humana (CPRM, 2002a).

Quanto à cota dos poços amostrados, só foi possível adquirir dados da cidade de Manaus (Tabela 01a). Nessa cidade, a direção de fluxo subterrâneo diverge da porção Noroeste (Figura 71), sendo semelhante ao verificado por Silva (1999), que fez referência à direção de fluxo subterrâneo em Manaus, divergindo, preferencialmente, da porção Centro-Noroeste. De acordo com a CPRM (2002a), o fluxo principal das águas subterrâneas de Manaus exhibe direção de NE para SW e secundários de direções diversas.

Na cidade de Manaus, a altitude da área verificada nos perfis dos poços amostrados (Tabela 01a), apresentou correlação linear de 82,50% com a espessura da cobertura argilosa e de 58,12% com o nível estático, estando a maioria dos poços na faixa de 40 a 80 m de altitude.

O aquífero Alter do Chão, sob a cidade de Manaus, apresenta uma espessura em torno de 200 metros, dos quais 175 metros encontram-se saturados com o nível das águas oscilando, anualmente, em apenas três metros. Tem-se sob Manaus, uma reserva permanente de água, da ordem de 10 km³ (CPRM, 2002a; Aguiar et al., 2003). O limite inferior do aquífero corresponde aos evaporitos e calcários da Formação Nova Olinda (Figura 12).

De acordo os dados de marcos topográficos fornecidos pelo IBGE (2002) para as cidades em estudo, foi construído bloco diagrama (Figura 70) com a configuração topográfica da área em estudo. Observa-se desnível de 34 metros de Alvarães a Manaus e de 6 metros de Manaus a Parintins, sentido NE-SW. Este desnível topográfico exerce grande influência sobre o comportamento do escoamento superficial e subterrâneo.

A profundidade média dos poços amostrados foi de 92,84 m, com menor valor de 26,00 m em Uarini e maior de 228,00 m em Manaus. O fácil acesso ao recurso e a distância entre os municípios são os principais motivos da pouca profundidade dos poços em diversas cidades. A distância dificulta o transporte do material de perfuração, pois no estado do Amazonas, os rios são as principais vias de acesso.

O nível estático dos poços amostrados variou de 0,00 m a 72,30 m, ambos em Manaus (Tabela 01), com média geral para as cidades visitadas de 20,47 m. O menor nível dinâmico foi de 5,30 m em Itacoatiara e o maior de 114,85 m em Manaus. A vazão média geral foi de 38,88 m³/h e a cidade com maior vazão média foi Itacoatiara com 86,28 m³/h (Tabela 01).

Correspondendo a quase toda a porção oriental da cidade de Manaus, o nível estático médio das águas do aquífero corresponde à faixa entre 25,2 m a 26,3 m com as maiores profundidades nos setores Sudeste e Nordeste. Para Oeste, a profundidade das águas é menor, chegando a aflorar em alguns locais (CPRM, 2002a).

7.2 Hidroquímica

7.2.1 Variáveis físicas e físico-químicas

A amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa (de 1°C a 2°C) e independe da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos freáticos pouco profundos, onde a temperatura é um pouco superior à atmosférica (Santos, 2000). Em profundidades maiores a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico do local. No aquífero Botucatu é comum temperatura de 40°C a 50°C em suas partes mais profundas e em regiões vulcânicas ou de falhamentos profundos, águas aquecidas em profundidade podem aflorar na superfície dando origem às fontes termais.

A superior temperatura do ar relativamente à das águas subterrâneas pode ser explicada pela interpretação de Castany (1971) que considera que a água meteórica em seu trajeto, desde a zona não saturada até a saturada, tende a entrar em equilíbrio térmico com as rochas do aquífero.

A média geral da temperatura do ar encontrada no período de coleta foi de 30,8°C (Tabela 06, anexo 1). A menor temperatura foi de 22,0°C em Manaus (Tabela 02) e a maior de 37,5°C em Tefé (Tabela 02b). A baixa temperatura do ar em Manaus é oriunda,

provavelmente, do período de coleta corresponder a meses com altas intensidades pluviométricas (março-abril) (Tabela 01a).

Quanto à temperatura das águas subterrâneas amostradas, a média geral foi de 28,3°C. A média para a cidade de Manaus foi de 27,4°C e para a Formação Alter do Chão de 27,9°C (Tabela 06).

A cidade que apresentou o menor e maior valor de temperatura para suas águas subterrâneas foi Manaus, de 25,0°C e 30,5°C, respectivamente. Segundo informação verbal da EMBRAPA em Manaus, houve acréscimo de intensidade pluviométrica de março a abril, o que corrobora com o decréscimo de temperatura das águas subterrâneas nesse período (Tabela 02).

Para Manaus, Formação Alter do Chão e somatório de todas as cidades amostradas, as correlações lineares entre as temperaturas das águas de subsuperfície e as temperaturas do ar, nos períodos de coletas foram de 83,20%, 58,75% e 55,14%, respectivamente, indicando, assim, rápida influência da temperatura atmosférica nas águas estudadas.

Silva (1999), estudando águas subterrâneas de Manaus, encontrou valores relativamente homogêneos na avaliação da temperatura das águas coletadas, com média de 27,8°C enquanto a média da temperatura do ar foi de 32,5°C. Costa et al. (2003) encontraram valor médio de 29,0°C da temperatura da água subterrânea na área urbana de Manaus. Souza (1994) fez referência à temperatura média das águas subterrâneas em Manaus como sendo igual 27,3°C e, em estudo hidrogeoquímico realizado por Tancredi et al. (1987) na ilha de Marajó - PA, a temperatura variou de 26,0°C a 29,5°C. Para águas de superfície no município de Rio Preto da Eva, Cunha et al. (2003) encontraram valores de temperatura variando de 25,0°C a 29,0°C. Todos os dados semelhantes ao encontrado neste trabalho, evidenciando, extrema similaridade com as temperaturas das águas subterrâneas em estudo. O que indica que nessa região em estudo a temperatura atmosférica exerce influencia sobre as águas subterrâneas, pelo não confinamento dos aquíferos e rápida infiltração das águas meteóricas (Figura 67).

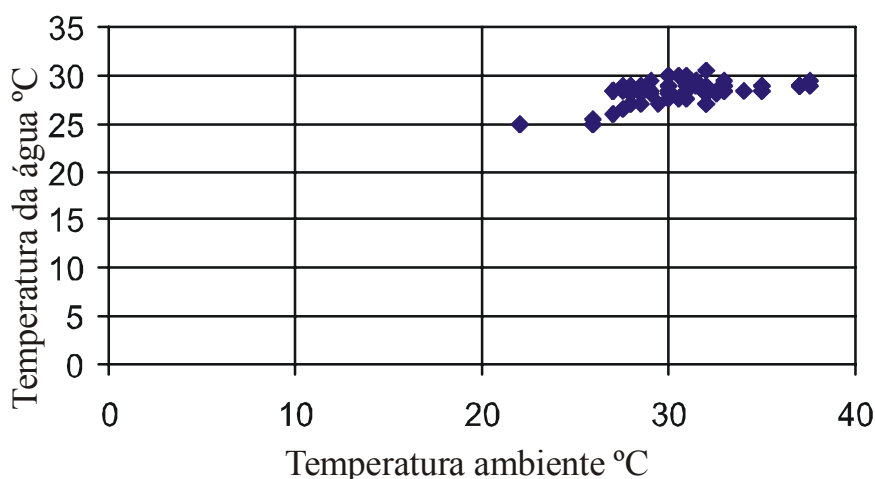


Figura 67. Temperatura ambiente versus temperatura das águas subterrâneas amostradas em cidades no estado do Amazonas.

O pH de uma solução é o logaritmo do inverso da concentração em íons de H^+ . Para a água, $[H^+][OH^-] = \text{constante} = 10^{-14}$ (a 25°C). Krauskopf (1972) sugeriu valores de 4 e 9, respectivamente, como limite inferior e superior para o pH das águas naturais, intervalo no qual ocorrem as mais importantes reações de interesse em geoquímica.

No Brasil, ecossistemas aquáticos continentais com baixo pH são encontrados em grande número na região de terra firme da Amazônia central, no litoral e em regiões de turfeiras. Estes ecossistemas têm como característica comum a cor escura da água (Esteves, 1998).

A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5. Em casos excepcionais, pode variar entre 3,0 e 11,0 (Santos, 2000).

O menor valor regional de pH encontrado foi de 3,0 em vila Amazônia no município de Parintins (Tabela 01b) e o maior de 6,1 na cidade de São Sebastião do Uatumã (Tabela 01c). Os poços amostrados em vila Amazônia apresentaram os menores valores de pH, pois foram perfurados às margens do rio Andirá que apresenta água preta. Mas, no geral, a maioria dos poços amostrados apresentou valor de pH menor que 5,0.

Para águas subterrâneas na cidade de Manaus, Souza (1994) e Silva (1999) registraram valores médios de pH iguais a 4,8 e Aguiar et al. (2003), Ramos & Silva (2003) e Costa et al. (2003) encontraram valores de pH variando de 3,3 a 6,0, que são semelhantes aos encontrados por Kùchler et al. (2000) na calha do rio Negro (4,0 a 5,8) e diferentes dos encontrados na calha do rio Solimões (6,9).

Mera et al. (2003) encontraram valores de pH variando de 6,1 a 6,5 nas águas do rio Amazonas, próximo ao município de Itacoatiara. Os valores de pH observados nos poços amostrados nesse trabalho em Itacoatiara (Tabela 02) estão bem abaixo desses valores.

Estes valores indicam que são ácidas as águas de subsuperfície amostradas e não se enquadram nos padrões de qualidade ambiental (portaria 36 do Ministério da Saúde de 19/01/90), pois, são inferiores ao limite mínimo de pH igual a 6,5; isto apesar de estar na Amazônia a maior reserva de água doce acessível do país. Esta característica físico-química das águas estudadas possivelmente pode ser explicada em função da composição mineralógica das rochas dos aquíferos, recarga rápida e intensa cobertura vegetal.

A capacidade de um meio causar oxidação ou redução é medida pela grandeza conhecida como potencial de oxirredução (Eh), que expressa a capacidade do ambiente em fornecer elétrons a um agente oxidante, ou em retirar elétrons de um agente redutor.

Nos poços analisados, o menor valor de Eh foi de +23,00 mV nas águas de Manacapuru (Tabela 01) e o maior valor de +201,00 mV em Tefé (Tabela 01c). A média geral para todos os poços amostrados foi de +86,96 mV, em Manaus foi de +75,75 mV e na Formação Alter do Chão de +59,07 mV (Tabela 06).

Estes valores indicam que o ambiente de circulação pode ser classificado como “redutor e ácido” (Figura 51). Nas águas subterrâneas das cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos, Urucará e São Sebastião do Uatumã não foi possível a obtenção do Eh, devido a problemas durante a amostragem.

Silva (1999) obteve valores de Eh variando de +93 mV a +256 mV com média de +197,93 mV em águas subterrâneas da cidade de Manaus, e classificou o ambiente de circulação como redutor ácido. Pinto et al. (2003; 2004) também forneceram a mesma classificação para as águas superficiais do rio Negro, próximo a Manaus, não diferindo do encontrado neste estudo.

A água subterrânea, ao infiltrar no estrato rochoso, enriquece-se em sais minerais dissolvidos favorecidos pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões, temperaturas e tipos de rochas. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na em eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica (CE), podemos estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água (Castany, 1971).

O menor valor encontrado para CE foi $3,86 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ nas águas subterrâneas de Manacapuru (Tabela 02) e o maior de $264,00 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em Parintins (Tabela 02a). A média geral de CE foi de $43,50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, em Manaus foi de $34,04 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e na Formação Alter do Chão de $45,92 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tabela 06).

Elias & Silva (2000; 2001) encontraram valores de CE de $9,33 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $58 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no rio Negro e $8,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $215 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em água de igarapés da cidade de Manaus, enquanto Cunha et al. (2003) determinaram valores que não ultrapassam $15 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na bacia do Rio Preto da Eva. Para o rio Negro e Solimões, Küchler et al. (2000) encontraram valores de CE de $28,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $93,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, respectivamente.

Em Manaus foram encontradas correlações da CE com o Mg^{2+} (71,78%), Ca^{2+} (69,18%), Cl^- (66,30%), NO_3^- (65,67%). Para todas as águas amostradas as correlações de CE foram com NO_3^- (71,58%), Cl^- (69,40%), Na^+ (57,90%), K^+ (47,40%) e HCO_3^- (42,20%). Entretanto, para as águas da Formação Alter do Chão, as correlações foram com NO_3^- (74,04%), Cl^- (72,25%), Ca^{2+} (59,33%), Na^+ (58,64%) e Mg^{2+} (58,44%). Quanto à correlação de CE e temperatura das águas amostradas para todos os poços amostrados, não houve valor significativo. Estas correlações indicam a importância dessas variáveis químicas para a condutividade elétrica do meio estudado (com predominância aniônica) e que a temperatura das águas parece não ter influência sobre a dissolução desses elementos químicos, na região em estudo.

Silva (1999) apresentou dados de CE em águas de subsuperfície em Manaus, variando de $15,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $82,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (média de $32,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e também observou correlação significativa com o Mg^{2+} ($r= 0,86$), Ca^{2+} ($r= 0,89$), HCO_3^- ($r= 0,82$) e K^+ ($r= 0,73$).

Aguiar et al. (2003) encontraram valores de CE em águas do aquífero Alter do Chão variando de $14,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $458 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, relacionando à poluição antropogênica os altos valores de CE dos poços amostrados em Manaus enquanto Andrade et al. (2004) encontraram condutividade acima de $1900 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em dois poços tubulares na cidade de Iranduba e relacionou à possível perfuração do poço ter ultrapassado a Formação Alter do Chão e chegado à Formação Nova Olinda.

As baixas CE's obtidas indicam que as águas subterrâneas da área em estudo são fracamente mineralizadas. A extrema pureza das águas naturais da região estudada reflete a importância do escoamento, da alta precipitação pluviométrica e evapotranspiração, rápida infiltração e da pobreza química dos materiais percolados.

A turbidez é a dificuldade da penetração da luz nas águas causada pelas partículas em suspensão. As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez. Em alguns casos, águas ricas em íons Fe podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar.

A turbidez apresentou média geral de 0,77 UNT (Tabela 06), excetuando os poços nº 15, 71 e 76 que apresentaram valores de 32,0, 7,6 e 8,3 UNT, respectivamente (Tabela 02 e 02b). Valores acima dos recomendados pela OMS, que deve ser inferior a 5 UNT. Estes elevados valores podem estar relacionados a alguma falha na construção desses poços tubulares.

Ramos & Silva (2003) e Costa et al. (2003) verificaram baixos valores para turbidez nas águas subterrâneas da cidade de Manaus, diferindo de Pinto (2004) que observou turbidez variando de 1,8 a 6,7 UNT nas águas do rio Negro, na orla de Manaus. Portanto, a turbidez dessas águas de subsuperfície da região em estudo é baixa.

7.2.2 Variáveis químicas

A dureza é definida, no geral, pelo teor de cálcio e magnésio de uma água, expresso em teores de carbonato de cálcio. Atualmente, os valores são expressos em miligrama por litro (mg. L^{-1}) ou miliequivalente por litro (mEq. L^{-1}).

A dureza teve média geral de 18,98 mg.L^{-1} (Tabela 06) com quase todas as amostras de águas subterrâneas estudadas classificadas como do tipo “moles” com exceção das amostras nº 72, 75 e 76 da cidade de Tefé (Tabela 02) que foram classificadas como tipo “dura” mas não ultrapassaram o limite máximo estabelecido pelo Ministério da Saúde (decreto 36 de 19/01/90) que é de 500 mg. L^{-1} . Essa classificação foi baseada em Sawyer & McCarty apud Todd (1980). Possivelmente, esses poços tubulares ultrapassam a Formação Solimões, o que não está implícito nos perfil dos poços estudados.

Estudando águas subterrâneas da cidade de Manaus, Silva (1999), Ramos & Silva (2003) e Costa et al. (2003) encontraram valores de dureza semelhantes aos obtidos neste trabalho.

O cálcio é o elemento mais abundante existente na maioria das águas e rochas. Os sais de cálcio possuem moderada a elevada solubilidade, sendo muito comum precipitar como carbonato de cálcio. Nas águas meteóricas os teores variam no intervalo

0,1 mg.L⁻¹ a 10,0 mg.L⁻¹ e nas águas do Oceano Atlântico os valores oscilam em torno de 480 mg.L⁻¹. Nas águas subterrâneas, os teores de cálcio variam, em geral, de 10 a 100 mg.L⁻¹ (Santos, 2000). Sua concentração nos corpos de águas da região amazônica é baixa e nos ambientes de água preta, os níveis de cálcio ainda são mais reduzidos (Esteves, 1998).

A média geral para o cálcio foi de 2,23 mg.L⁻¹. Em Manaus, o valor médio foi de 0,78 mg.L⁻¹, para a Formação Alter do Chão de 1,25 mg.L⁻¹ (Tabela 06) e o maior valor encontrado foi de 49,17 mg.L⁻¹ na cidade de Tefé (Tabela 02b).

Silva (1999) encontrou em Manaus, valores menores que 5,45 mg.L⁻¹, com média de 0,82 mg.L⁻¹ para águas de subsuperfície. Em estudo desenvolvido por Simões & Cunha (2000) em água do rio Negro, foi possível identificar valor menor que 0,02 mg.L⁻¹ no período de seca e na bacia do Rio Preto da Eva, Neiva & Cunha (1999) encontraram concentrações médias obtidas nas águas de precipitação, durante a estação seca e chuvosa, menor que 0,02 mg.L⁻¹.

Análises de águas dos troncos e do nível estático conduzidas por Brinkmann & Santos (1973) e Santos et al. (1981) em ecossistemas florestais perto de Manaus sugeriram que o Ca²⁺ circula num sistema fechado, onde se torna imobilizado, principalmente, nas folhas mais velhas das plantas e que na água de chuva, nas águas do solo e dos rios geralmente só foram encontrados traços de cálcio. Isto demonstra que esse elemento tem baixa concentração nas águas superficiais e de subsuperfície na região em estudo.

O magnésio é um elemento de importância nas rochas ferromagnesianas e ultrabásicas. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são: biotita, anfibólios e piroxênios. Estes minerais são mais estáveis, diante do intemperismo químico, do que os minerais que fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor. Em região de rochas carbonáticas, as dolomitas são importantes fornecedores de magnésio. Nas águas subterrâneas ocorre com teores entre 1,0 mg.L⁻¹ e 40 mg.L⁻¹.

O argilo mineral dominante nos solos da região é a caulinita (Damião et al., 1972), sugerindo a possibilidade de que os silicatos de alumínio estejam fixando o magnésio.

A média geral do magnésio foi de 2,68 mg.L⁻¹ (Tabela 06) e os maiores valores encontrados foram na cidade de Tefé, que está sobre a Formação Solimões (Tabela 02b). Esses poços com valores altos de cálcio e magnésio na cidade de Tefé também

apresentaram altos valores de turbidez, o que pode ser a explicação para essa anomalia, oriunda, provavelmente, da má construção dos poços amostrados. No entanto, Andrade et al. (2004) também verificaram teores de magnésio acima de 1200 mg.L^{-1} em águas de subsuperfície na cidade Iranduba, que fica sobre a Formação Alter do Chão.

No geral, a correlação do magnésio com o cálcio foi de 93,15% (Figura 68). Em Manaus, foi de 59,11% e na Formação Alter do Chão de 78,82%. Silva (1999) encontrou correlação de 95%, entre os mesmos elementos, para as águas de subsuperfície de Manaus, indicando, assim, que os processos intempéricos estão agindo da mesma forma sobre estes elementos.

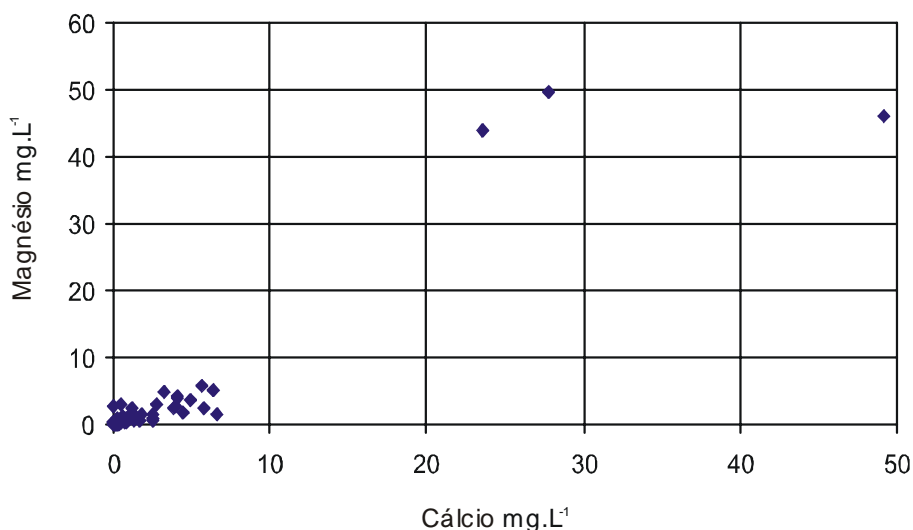


Figura 68. Distribuição de magnésio e cálcio dissolvidos nas águas subterrâneas amostradas nas cidades no estado do Amazonas.

Dentre os metais alcalinos dissolvidos nas águas, o sódio costuma ser mais abundante que o potássio, sendo os feldspatos geralmente as mais importantes fontes desse elemento, uma vez que, a albita e a anortita são decompostas mais facilmente que os feldspatos potássicos. Geralmente, quando lixiviado, o sódio tende a permanecer em solução, em virtude dos compostos desse elemento serem bastante solúveis. A concentração do sódio varia, em geral, entre $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ e $100,0 \text{ mg.L}^{-1}$ nas águas subterrâneas e entre $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e $150,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em águas naturais doces (Sinelli, 1970; Santos, 2000).

A média geral do sódio dissolvido nas águas analisadas foi de 3,47 mg.L⁻¹. Nas amostras da Formação Alter do chão, o valor médio de sódio foi de 3,49 mg.L⁻¹ e em Manaus a média foi de 1,75 mg.L⁻¹ (Tabela 06). Manaus apresentou o maior valor de sódio dissolvido (36,5 mg.L⁻¹ no poço nº 26) (Tabela 02), oriundo, provavelmente, de algum processo antrópico no poço estudado pois esse poço pertence a um clube poliesportivo. Silva (1999) também verificou baixo valor médio de sódio nas águas analisadas em Manaus (1,25 mg.L⁻¹).

O potássio é um elemento químico abundante na crosta terrestre. Ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido à sua participação intensa em processos de trocas iônicas, utilização pelos vegetais e da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila. Ocorre principalmente nos feldspatos potássicos, micas e leucitas, em rochas ígneas e metamórficas. Altas concentrações podem ser encontradas nos minerais de carnalita e silvinita, em evaporitos. Nas águas meteóricas os teores estão geralmente no intervalo de 0,1 mg.L⁻¹ a 4,0 mg.L⁻¹. Os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg.L⁻¹, sendo mais freqüentes valores entre 1,0 mg.L⁻¹ e 5,0 mg.L⁻¹ (Fenzl, 1988; Santos, 2000).

Ainda não são bem conhecidos os mecanismos que controlam o comportamento do potássio. Altas concentrações só ocorrem em regiões onde não há suficientes silicatos de alumínio capazes de fixá-lo (Sinelli, 1979).

A maior concentração de potássio dissolvido foi de 19,7 mg.L⁻¹ na cidade de Itacoatiara (Tabela 02). O potássio apresentou valor médio regional de 4,25 mg.L⁻¹. Em Manaus, o valor médio foi de 4,80 mg.L⁻¹ e na Formação Alter do Chão de 4,69 mg.L⁻¹ (Tabela 06).

Para as águas subterrâneas de Manaus, Silva (1999) e Ramos & Silva (2003) encontraram valores médios de potássio de 5,53 mg.L⁻¹ e 4,00 mg.L⁻¹, respectivamente, os quais são semelhantes aos encontrados neste trabalho.

O potássio apresentou para Manaus e para todos os poços amostrados, correlação linear com o pH de 64,33% e 42,36%, respectivamente. De acordo com Santos et al. (1981) e Santos & Ribeiro (1988) a alta concentração de potássio, sódio e magnésio nos rios de água preta ou águas ácidas na região em estudo, é devido ao intemperismo do feldspato, lavagem das folhas, caules, troncos e decomposição orgânica.

Considerando-se os valores médios obtidos para os principais cátions, verifica-se que a sua abundância ocorre de acordo com a seqüência: Manaus, Itacoatiara,

Barreirinha e Maués para $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$; Rio Preto da Eva, Iranduba, Presidente Figueiredo, Parintins, Alvarães e Uarini para $Na^+ > K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$; Manacapuru para $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$; Boa Vista do Ramos para $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+$; Urucará $Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$; São Sebastião do Uatumã para $K^+ > Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$ e Tefé para $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$ e para a seqüência regional é $K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$. Esta situação não é comum para águas subterrâneas, uma vez que o potássio ocorre em rochas, numa forma não facilmente solubilizada, sendo recombinável com outros produtos de intemperismo, particularmente os minerais argilosos, conforme sugere Sinelli (1970) ao mostrar a tendência do potássio em estar sempre presente nos sedimentos argilosos em proporções maiores do que nas rochas ígneas.

Moraes & Costa (1997) ao estudarem o caulim de Manaus-Itacoatiara verificaram a seguinte seqüência para os cátions: $Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+ > Na^+$, enquanto que Chavel (1982) estudou a evolução de solos em Manaus e verificou que com o acréscimo da profundidade, diminui o teor de sódio e potássio no solo.

Simões & Cunha (1999) ao analisarem água de infiltração em uma bacia modelo no município de Rio Preto da Eva, verificaram a seqüência $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ no período chuvoso e $Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Ca^{2+}$ no período seco. Para as águas do rio Amazonas, no município de Itacoatiara, Mera et al. (2003) encontraram a relação de dominância de $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$.

Para águas subterrâneas de Manaus, Ramos & Silva (2003) apresentaram a seguinte seqüência: $K^+ > Na^+ > Mg^{2+} \geq Ca^{2+}$ e Silva (1999) verificou a seqüência $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} = Mg^{2+}$. Entretanto, para águas do rio Negro, Simões & Cunha (2000) e Pinto (2004) encontraram a seqüência $Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$, em período de seca. O que mostra recarga do rio Negro por essas águas de subsuperfície.

Na área de estudo, sob a Formação Alter do Chão e Solimões, ocorre a Formação Nova Olinda, com horizontes de evaporitos com carnalita (cloreto hidratado de magnésio e potássio) e silvinita (cloreto de potássio), bem como níveis de calcário. É provável que esta Formação seja a responsável pelo enriquecimento de potássio nas águas subterrâneas em estudo, pois, Andrade et al. (2004) em estudo comparativo com águas de subsuperfície de Manaus e Iranduba, verificaram águas mineralizadas com altos teores de cálcio, magnésio e potássio na cidade de Iranduba, relacionando-os à Formação Nova Olinda.

O cloro está presente em todas as águas naturais, com valores situados entre 10,00 mg.L⁻¹ e 250,00 mg.L⁻¹ nas águas doces. As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de cloretos inferiores a 100,00 mg.L⁻¹. Já nas águas dos mares são abundantes. O cloreto, em geral, é muito solúvel e muito estável em solução, logo, dificilmente precipita. A alta solubilidade e o lento movimento das águas no aquífero vão provocando aumentos gradativos e constantes nos teores de cloretos nas águas subterrâneas na direção do fluxo (Fenzl, 1988; Santos, 2000).

O cloreto apresentou média regional de 2,37 mg.L⁻¹. A Formação Alter do Chão apresentou valor médio de 2,46 mg.L⁻¹ e Manaus de 2,02 mg.L⁻¹ (Tabela 06). O maior valor de cloro dissolvido nas águas amostradas foi de 24,07 mg.L⁻¹ na cidade de Parintins e o menor de 0,64 mg.L⁻¹ em Tefé (Tabela 01b e 01c). A cidade com menor valor médio para o cloreto foi Presidente Figueiredo (0,88 mg.L⁻¹) e o maior foi Parintins (7,13 mg.L⁻¹) (Tabela 01 e 01b).

Em Parintins, existe na área central da cidade um cemitério e geralmente os poços tubulares, construídos pela FUNASA, estão distribuídos em seu entorno, extraíndo água no nível freático mais elevado. Devido à presença de coliformes totais acima do recomendado pela legislação vigente, em alguns poços, foi possível verificar in locu, cloração excessiva nas águas distribuídas à população da cidade de Parintins, motivada pela falta de preparo técnico do quadro de pessoal do SAAE.

Neiva & Cunha (1999) verificaram valores médios de cloreto de 0,7 mg.L⁻¹ nas águas de precipitação durante a estação seca e 0,44 mg.L⁻¹ na estação chuvosa. Em Manaus, Silva (2001) encontrou concentração média de cloreto de 1,09 mg.L⁻¹ e Silva (1999) de 1,00 mg.L⁻¹ em águas de subsuperfície enquanto Aguiar et al. (2003) encontraram valores de 1,56 mg.L⁻¹ a 47,29 mg.L⁻¹ e relacionaram esses altos valores de cloreto a uma possível influência antropogênica na área. O que mostra que esse cloro dissolvido nas águas amostradas tem baixa concentração e que os valores anômalos estão geralmente relacionados às influências antrópicas.

Quanto à alcalinidade das águas amostradas, são baixos os valores, com média geral de 10,31 mg.L⁻¹ (Tabela 06). A cidade de Itacoatiara foi a que apresentou o maior valor médio amostrado (44,91 mg.L⁻¹) (Tabela 02).

De acordo com a correlação linear, a alcalinidade apresentou correlação positiva com o K⁺ de 75,62% com todos os poços amostrados e de 78% com os poços da Formação Alter da Chão. O pH apresentou em Manaus, Formação Alter do Chão e

somatória geral dos poços amostrados correlação linear com a alcalinidade de 72,43%, 55,87% e 57,17%, respectivamente.

Silva (1999) encontrou correlação entre a alcalinidade e o potássio de 87% em águas de subsuperfície de Manaus, diferindo do valor encontrado neste trabalho. Diferença provocada, provavelmente, por períodos de coletas distintos.

A correlação da alcalinidade com o Mg^{2+} foi de 82,92% com as águas da Formação Alter do Chão e de 76,35% com os poços de Manaus. Silva (1999) encontrou valor de correlação de 78% com alcalinidade e Mg^{2+} em Manaus, valor idêntico ao encontrado neste trabalho.

Comparando os teores de alcalinidade e cálcio, obtivemos correlações lineares de 77,78% e de 63,14% para Formação Alter do Chão e Manaus, respectivamente. Silva (1999) encontrou valor semelhante ao deste trabalho.

Quanto ao Na^+ dissolvido, a alcalinidade teve correlação de 61,14% com para as águas de Manaus. Silva (1999) não verificou correlação entre estas variáveis para as águas de subsuperfície dessa cidade.

O sulfato origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas, da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita), chuvas (lavagem da atmosfera em cidades industrializadas) e agricultura (através da aplicação de adubos contendo enxofre). As águas subterrâneas apresentam geralmente teores inferiores a 100 mg.L^{-1} . As águas subterrâneas com excesso de sulfato ($>400 \text{ mg.L}^{-1}$) podem causar efeitos laxativos e na presença de íons de magnésio e sódio pode provocar distúrbios gastrointestinais (Esteves, 1998; Santos, 2000).

O sulfato apresentou baixa concentração nas águas analisadas, com valor médio de $1,01 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 06) para todos os poços amostrados, igualmente verificado por Silva (1999) em águas de subsuperfície da cidade de Manaus.

A concentração de nitrato nas águas subterrâneas é geralmente baixa. O nitrato é móvel e pode ser removido das camadas superiores do solo para a água. Representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica e teores acima de 5 mg.L^{-1} podem ser indicativos de contaminação de água subterrânea por atividade antrópica (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais etc). Águas subterrâneas apresentam geralmente teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg.L^{-1} , porém, em águas poluídas, os teores podem atingir a 100 mg.L^{-1} . Altas concentrações de

nitrato podem produzir intoxicação em criança ou até levá-la à morte por cianose (Santos, 2000).

Conforme a portaria 36 do Ministério da Saúde de 19/01/90, nitrato com concentração superior 10 mg.L^{-1} é inadequada para consumo humano. Nas águas amostradas, o nitrato teve média geral de $0,78 \text{ mg.L}^{-1}$ e na Formação Alter do Chão de $0,84 \text{ mg.L}^{-1}$. Já em Manaus, a média para o nitrato foi de $0,43 \text{ mg.L}^{-1}$. Quanto ao nitrito, a média geral foi de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ e para Manaus, menor que $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$. A amônia apresentou valor médio regional de abaixo de $0,16 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 06).

Na cidade de Parintins e Maués, os poços nº 47 e 55, apresentaram as maiores concentrações dos elementos estudados para grande parte das variáveis analisadas. O nitrato estava acima dos padrões recomendado em Parintins e a amônia em Maués (Tabela 02a). Provavelmente, seja em virtude de alguma infiltração superficial nesses poços tubulares. Esta contaminação poderá fluir para regiões próximas, aumentando o risco de doenças nas pessoas que venham a utilizar desta água captada através de poços rasos.

Em águas de subsuperfície de Manaus, Silva (1999) encontrou concentração média de nitrato e amônia de $0,16 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, que são valores próximos dos encontrados nesse trabalho. Ramos & Silva (2003) fizeram referência a teores anômalos de nitrato em poços de Manaus como indicativo de contaminação devido à má construção de poços.

Com relação à fonte de contaminação da água subterrânea por amônia e nitrato verificado por Aguiar et al. (2003) nos bairros de Educando e Colônia Oliveira Machado (próximo do rio Negro), sua origem é oriunda das águas de igarapés por infiltração e percolação de acordo com as direções de fluxo, originadas pelo rebaixamento das águas do aquífero naquele setor, resultado também de uma exploração elevada, superior à capacidade restauradora do aquífero. Apesar de Elias & Silva (2000) terem estudado as águas do rio Negro e não verificado contaminação de amônia, nos tributários os valores também mostraram ambientes degradados. Isto mostra que as águas superficiais da área urbana de Manaus estão comprometidas quanto à poluição antropogênica, o que não se verifica nas águas subterrâneas de poços tubulares profundos da região em estudo.

O fosfato presente em ecossistemas aquáticos continentais tem origem de fontes naturais e artificiais. A apatita é o mais importante mineral primário que fornece fósforo ao meio hídrico. O fósforo por via antropogênica pode ser acrescido às águas subterrâneas por derivados de detergente, efluentes domésticos, inseticidas e pesticidas. O

fósforo tem nítida tendência para formar compostos com vários íons e ligações com os minerais de argila. Sua concentração varia geralmente entre $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ e 1 mg.L^{-1} podendo chegar a 10 mg.L^{-1} (Esteves, 1998; Santos, 2000).

O fosfato apresentou concentração baixa nas águas analisadas, com média geral de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 06) e o maior valor encontrado foi de $0,230 \text{ mg.L}^{-1}$ no poço nº 04 na cidade em Itacoatiara (Tabela 02). Com exceção de Itacoatiara, os resultados se encontram abaixo dos padrões de potabilidade recomendado de $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ (Resolução CONAMA 20/86). Ramos & Silva (2003) e Costa et al. (2003) também encontraram baixos valores de fosfato em águas subterrâneas de Manaus.

O ferro pode estar presente com baixos teores (menor que $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$) em quase todas as águas. Alto teor de ferro nas águas subterrâneas pode estar ligado à corrosão do revestimento ou filtro do poço. Quanto ao ferro dissolvido nas águas, duas espécies ocorrem comumente: o íon ferroso (Fe^{2+}) e o férrico (Fe^{3+}). O ferro no estado ferroso se oxida na presença ar, tornando-se férrico. Concentrações de ferro total de $1,0$ a $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ nas águas subterrâneas são comuns (CETESB, 1978; Santos, 2000).

A água infiltrada, por ser rica em oxigênio, ataca o ferro existente nos sedimentos transformando-os em hidróxido. A constante migração do ferro satura os interstícios do sedimento, podendo criar um nível impermeável laterítico (Damião et al., 1972).

O ferro total das águas estudadas teve média regional de $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$ e o Fe^{+3} de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 06). Isto mostra a baixa concentração desse elemento nessas águas de subsuperfície, o mesmo tendo sido verificado por Silva (1999) e Souza (1994) em águas de subsuperfície de Manaus. No entanto, Andrade et al. (2004) registraram concentrações de ferro total acima de 37 mg.L^{-1} nas águas subterrâneas de alguns poços tubulares da cidade de Iranduba e relacionou ao material de construção dos poços.

Santos & Ribeiro (1988) constataram a presença de baixo teor de ferro total nos rios de água preta. Segundo Tancredi (1996), o teor de ferro relativamente baixo reflete a elevada taxa de circulação (renovação) da água subterrânea no sistema hidrológico da Formação Alter do Chão.

O silício, embora seja o elemento mais largamente encontrado nas rochas, não ocorre em quantidades significativas nas águas subterrâneas. O intemperismo de minerais de argila e os feldspatos constituem as principais fontes desse elemento para as águas de

subsuperfície. Teores de 25 mg.L^{-1} nas águas subterrâneas não são raros (Sinelli, 1979; Santos, 2000).

A média regional de concentração de sílica foi de $11,46 \text{ mg.L}^{-1}$. Na Formação Alter do Chão, foi de $10,99 \text{ mg.L}^{-1}$ e em Manaus, de $13,86 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 06). Silva (1999) e Ramos & Silva (2003) encontraram nas águas subterrâneas de Manaus, valores médios similares aos encontrados nesse estudo.

7.2.3 Urânio dissolvido e razão de atividade (RA)

Um total de 64 amostras foi analisado quanto à razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (RA) e concentração de urânio dissolvido em águas de subsuperfície amostradas em cidades do estado do Amazonas (Tabelas 05 e 05a). No geral, as concentrações de urânio variaram de $0,01 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ em Urucará (Tabela 05a) a $1,36 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ em Itacoatiara (Tabela 05). O menor valor médio de urânio dissolvido foi de $0,003 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ em Tefé e o maior de $0,39 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ em Parintins (Tabela 05a).

A concentração média do urânio dissolvido em todos os poços amostrados foi de $0,19 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$. Nos poços da Formação Alter do Chão foi de $0,19 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ e nos poços da cidade de Manaus foi de $0,08 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 06). Um aspecto importante a ser citado, constitui do baixo teor de urânio dissolvido encontrado nas amostras analisadas.

Observa-se que os poços nº 05 (Itacoatiara), 18 (Iranduba), 45 e 47 (Parintins) são anômalos em concentração de urânio dissolvido em relação aos demais amostrados (Tabela 05 e 05a). Essa diferença em concentração está relacionada, possivelmente, a algum estrato diferenciado quanto à litologia da área perfurada para a construção do poço tubular, pois os mesmos também diferem nas concentrações iônicas dos poços circunvizinhos.

Os valores das concentrações de urânio encontrados neste trabalho, não diferem muito dos encontrados por Silva (1999) em estudo sobre isótopos de urânio em águas de subsuperfície em Manaus – AM, onde observou concentrações de urânio variando de $0,003 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ a $1,1 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$, tendo como média $0,15 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$. Essa diferença em concentração para esses poços foi relacionada, provavelmente, à dinâmica de fluxo subterrâneo.

Durante a infiltração das águas meteóricas, ocorrem interações entre água/rocha-solo, as quais, freqüentemente, resultam em razões de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ para o urânio dissolvido maiores que a unidade, em virtude da lixiviação preferencial de ^{234}U em relação a ^{238}U (Bonotto, 1996).

As RA's das águas dos poços amostrados variaram de $1,00 \pm 0,11$ em Maués a $3,53 \pm 0,12$ em Iranduba. Quanto aos valores médios de RA, o menor foi de $1,12 \pm 0,08$ em Presidente Figueiredo e o maior de $2,38 \pm 0,14$ em Barreirinha. Na cidade de Tefé, os poços nº 72, 73 e 75 apresentaram-se anômalos quanto aos poços amostrados na região da Formação Solimões, provavelmente esses poços tubulares ultrapassaram essa Formação (Tabelas 05 e 05a).

Verifica-se que não são acentuados e estão situados no intervalo de 1,0 a 2,5 os desequilíbrios isotópicos médios para as cidades amostradas (Figura 67). Esse intervalo de RA é de conformidade com a maioria dos dados publicados (Bonotto, 1986).

A figura 69 mostra quatro regiões com tendência de aumento de razão de atividade no sentido Uarini → Tefé, Manacapuru → Manaus, Presidente Figueiredo → São Sebastião do Uatumã e Boa Vista do Ramos → Barreirinha. Então, a vasta extensão da área investigada (em torno de 942 km, em linha reta) e as possibilidades de ocorrências de reações químicas ao longo da área de estudo são fatores que inserem dificuldades na avaliação detalhada do comportamento da RA, nos aquíferos considerados.

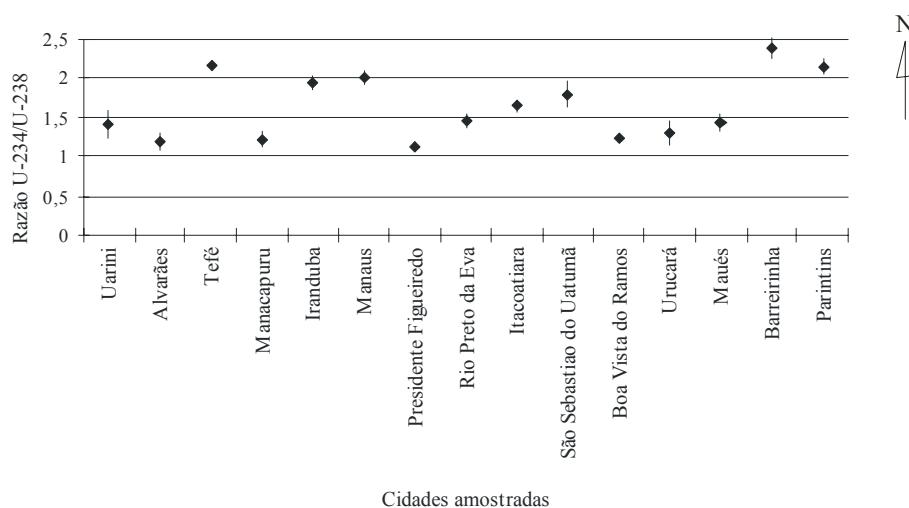


Figura 69. Distribuição dos valores médios das razões de atividades ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) e incertezas analíticas das águas subterrâneas em cidades do estado do Amazonas.

Foi possível observar que na área urbana de Manaus houve acréscimo de RA no sentido favorável ao fluxo subterrâneo (Figura 71). Em estudo hidroquímico realizado nas águas subterrâneas do Bambuí – BA, Gomes (1978) observou que ocorre uma tendência na diminuição de RA seguindo a direção do fluxo subterrâneo. O mesmo não foi verificado por Silva (1999), em estudo sobre isótopos de urânio em águas de subsuperfície em Manaus – AM, onde os maiores valores de RA coincidiram com as áreas de maior altitude topográfica e seu acréscimo, no geral, acompanhando a direção do fluxo subterrâneo.

A ampla extensão da área de estudo na Bacia Sedimentar do Amazonas introduz uma série de parâmetros que afetam a evolução hidroquímica das águas subterrâneas, de maneira que ocorrem vários processos que determinam um comportamento diferenciado para os íons, implicando, assim, em mudanças nos fácies hidrogeoquímicos.

Quando relacionamos os valores médios das razões de atividade, cátions, ânions e urânio dissolvidos das águas amostradas com a distribuição espacial das cidades em estudo, verificam-se acréscimos de valores das variáveis em questão, no sentido NE-SW (Figura 72).

A distribuição química das águas de subsuperfície ao longo das cidades amostradas (Sentido NE-SW) pode ser resultado de fatores como a diferença de declividade da bacia relacionada às estruturas soterradas (altos e baixos estruturais). Em princípio, essas feições estruturais poderiam dificultar o movimento das águas subterrâneas.

As Bacias do Baixo, Médio e Alto Amazonas são contíguas e, apesar de serem separadas por altos estruturais bem definidos, apresentam evolução sedimentar e tectônica relativamente similar (Cordani et al., 1984).

Conforme descrito no capítulo da revisão de literatura, Andrade & Cunha (1971) dizem que a hidrografia da região apresenta padrão angular de drenagem dominante, orientado por estruturas soterradas e que os terraços fluviais estão associados ao alargamento da planície de inundação, situados à montante de trechos estreitos e associados à movimentação recente de possíveis altos estruturais. Com base nestes relacionamentos renunciaram a existência de outros altos em Manacapuru, Manaus,

Anamã, desembocaduras dos rios Preto da Eva e Urubu, montante de Itacoatiara, desembocadura do rio Andirá e proximidades de Óbidos.

A declividade da área de estudo, o estreitamento da Bacia Sedimentar do Amazonas, a partir do seu curso médio e a drenagem orientada pela tectônica, podem estar influenciando a dinâmica do fluxo subterrâneo, ocasionando diferenças de velocidade de percolação no sentido NE-SW (Figura 72). Essas diferenças de velocidades poderão ocasionar maior ou menor tempo de permanência das águas com o substrato rochoso acarretando um enriquecimento ou empobrecimento de elementos dissolvidos.

A disposição E-O do embasamento guianense, assim como a proximidade deste escudo cristalino em relação à calha do Amazonas fizeram com que seus tributários, naquele trecho, tenham menor percurso, disso resultando acentuada dissimetria na Bacia Amazônica.

As proximidades das cidades amostradas com os escudos das Guianas e do Brasil central exercem outro fator importante na contribuição de concentração dos íons para as águas de subsuperfície estudadas. Geralmente as cidades visitadas se distribuem próximas às calhas dos principais rios da região. Essa contribuição química se intensifica a partir da cidade de Manaus no sentido NE-SW (Figura 72). Nesse caso, pela dissimetria da calha do Amazonas, o planalto Guianense parece exercer maior influência na composição química dessas águas amostradas neste estudo.

De acordo com dados de Goulding et al. (2003), na região em que estão inseridas as cidades de Uarini, Alvarães e Tefé, a descarga do rio Solimões é de aproximadamente 22% do total da bacia hidrográfica Amazônica. A partir da cidade de Manaus, o rio Solimões recebe mais 14% do rio Negro e Branco e à jusante de Itacoatiara, mais 15% do rio Madeira. No entorno da cidade de Parintins, a descarga do rio Amazonas é de aproximadamente de 81% do total (Figura 72).

Essa descarga superficial é outro fator que pode estar exercendo influência na distribuição desses elementos dissolvidos na área de estudo. Como se observa na figura 72, os picos de maior concentração de cátions e ânions são na região de Itacoatiara, onde recebe influência do rio Madeira, excetuando os poços nº 72, 75 e 76 na cidade de Tefé, que se apresentaram anômalos para os cátions quanto aos poços amostrados na região em estudo, mas apresentaram similaridades para as razões de atividade (poços nº 72, 73 e 75). Quanto ao urânio dissolvido e razão de atividade, verifica-se que os maiores picos estão na região de Parintins e Barreirinha, localizadas em uma área em que o rio Amazonas

apresenta 81% de sua descarga total e que há um aumento de urânio dissolvido e RA no sentido do fluxo subterrâneo (sentido NE-SW).

Bonotto (1996) também verificou aumento das condições redutoras progressivamente ao longo das direções de fluxo subterrâneo, com o teor de urânio dissolvido apresentando tendência de sofrer elevação, o qual exibiu correlação significativa quando os resultados são representados em função da pressão geoestática.

Moore (1967) analisou amostras de águas do rio Solimões/Amazonas e encontrou um valor de $0,043 \mu\text{g.L}^{-1}$ para a concentração de ^{238}U dissolvido e de 1,10 para a RA, valores semelhantes às médias obtidas neste trabalho. Mas não verificou diferença de concentração acentuada ao longo desses rios em questão.

De acordo com a classificação de Cowart & Osmond (1980) (Figura 70), o sistema hídrico da Formação Alter do Chão, Solimões e Nhamundá, no geral, é “normal redutor”, significando que características redutoras predominam no ambiente de circulação dessas águas, com a lixiviação de litologias contendo baixa concentração de urânio. A mesma classificação “redutora” foi verificada no diagrama de Krauskopf (Figura 51) onde se observa que as águas amostradas nas cidades da Formação Solimões são menos redutoras e, de acordo com Bonotto (1996), o urânio lixiviado de qualquer rocha sob condições oxidantes sofre precipitação num ambiente redutor, o que justificaria a baixa concentração de urânio nas águas estudadas.

A figura 70 também posiciona o intervalo de variação dos dados de RA e concentração de urânio dissolvido nas águas de subsuperfície das cidades amostradas no estado do Amazonas em relação aos valores determinados em trabalhos executados por Gomes (1978), Bonotto (1982), Bonotto (1986) em águas subterrâneas de diversas localidades do Brasil e Silva (1999) em águas subterrâneas de Manaus - AM. Observa-se que os dados isotópicos das águas subterrâneas em estudo, enquadram-se em sua maioria, na área estudada por Silva (1999) em Manaus e que as formações geológicas em questão são bem parecidas quanto a concentração de urânio e razão de atividade.

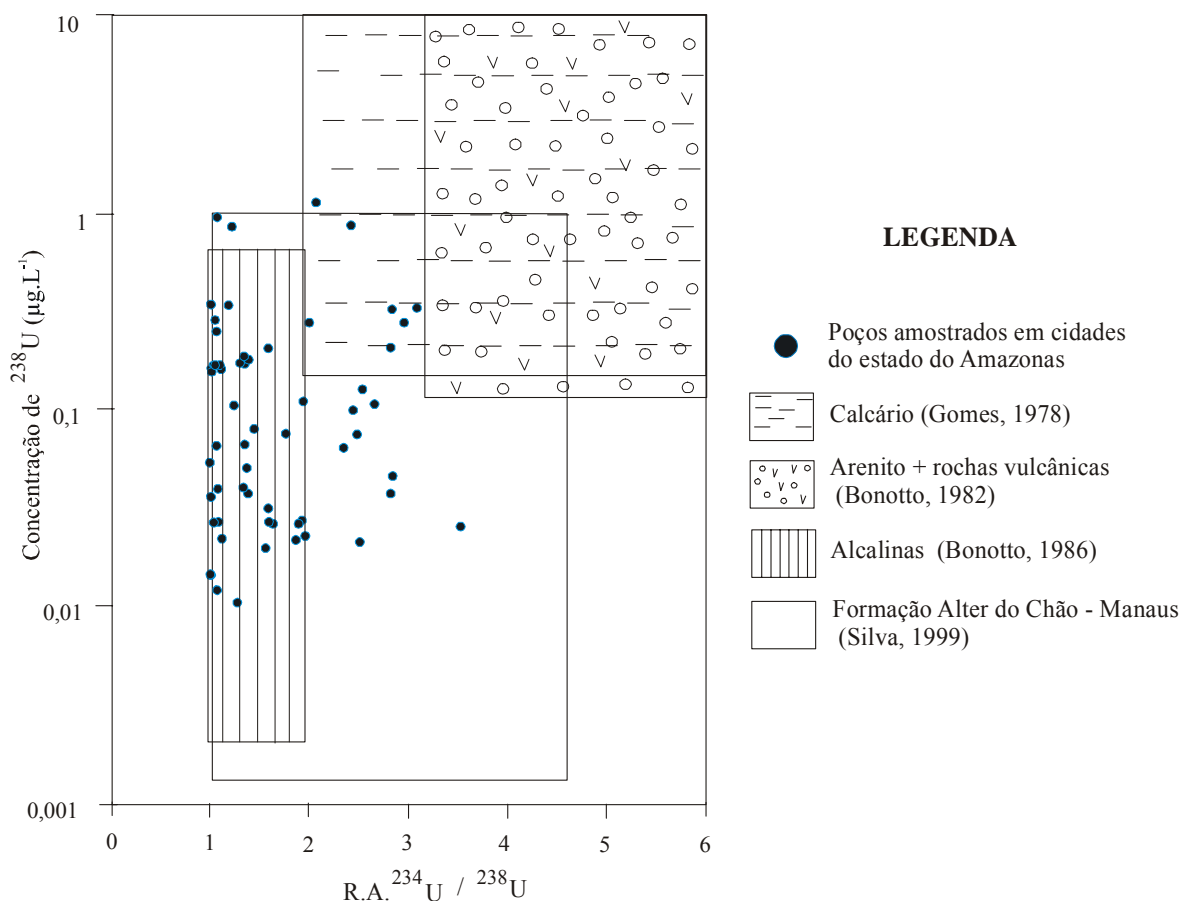


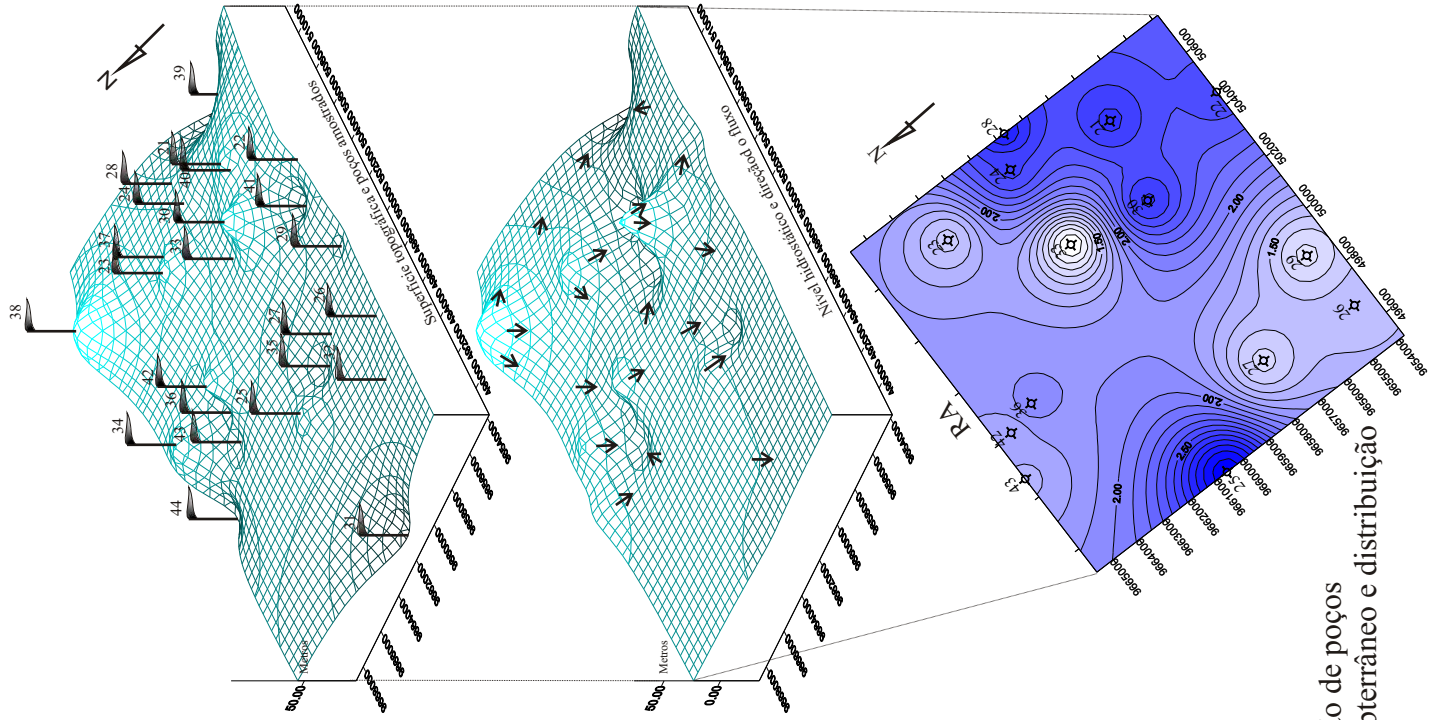
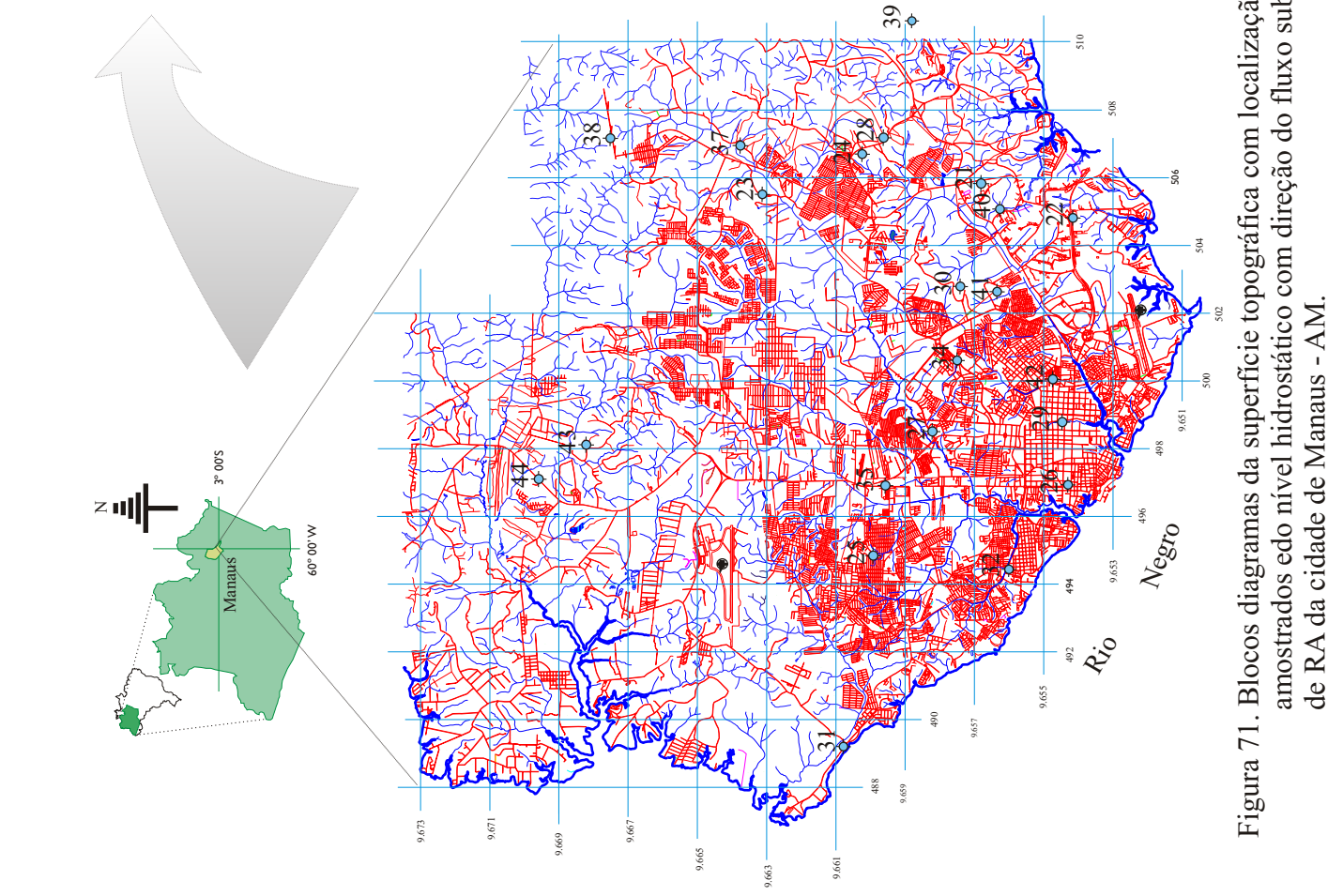
Figura 70. Comparação dos dados isotópicos das amostras de águas subterrâneas coletadas em cidades do estado do Amazonas com águas de Gomes (1978), Bonotto (1982 e 1986) e Silva (1999), baseada na concentração de urânio ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e RA, de acordo com diagrama de Cowardt & Osmond (1980).

Mais que um elemento importante do ponto de vista econômico, a presença do urânio no ambiente hídrico tem implicações radiológicas, devido à sua mobilidade nas águas e grande potencial de produzir dano biológico.

O organismo humano contém, em média, 90 μg de urânio, incorporado através do consumo normal de água, alimentos e do ar respirado; aproximadamente 66% estão dentro do esqueleto, 16% no fígado, 8% nos rins e uns 10% em outros tecidos. A maioria (>95%) do urânio que penetra no organismo é absorvido. Na população em geral, a ingestão diária do composto solúvel e insolúvel de urânio não tem que ultrapassar 0,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ e 5,0 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ do peso corporal, respectivamente. Para qualidade de água de beber, o recomendado é 2,0 $\mu\text{g.L}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (WHO, 2005).

O critério empregado no Brasil é baseado na Portaria nº 36 de 19/01/90 do Ministério da Saúde, a qual estabelece o valor de referência de 0,1 Bq.L⁻¹ e 1 Bq.L⁻¹ para a radioatividade alfa e beta total, respectivamente. Para se concluir sobre a potabilidade da água, devem ser aplicados os critérios da CNEN (1988) que impõe os limites de ingestão anual para o ²³⁸U de 5x10⁵ Bq e para o ²³⁴U de 4x10⁵ Bq.

Todas as águas analisadas neste trabalho são utilizadas para fins de consumo humano, de maneira que padrões de qualidade podem ser empregados para avaliar sua potabilidade relativamente ao urânio. O maior teor de urânio dissolvido para todas as águas das cidades amostradas foi de 1,4 µg.L⁻¹ em Itacoatiara (Tabela 05). Constatou-se, assim, que os teores obtidos para as águas subterrâneas amostradas nas cidades em estudo estão abaixo da máxima permitida pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2005).



LEGENDA

- Rodovia pavimentada ———— Igarapés e lagos
- Hidrografia
- Aeroporto
- Poço amostrado N° amostras
- Poço amostrado N° amostras
- Direção do fluxo
- Isovalores de RA

Figura 71. Blocos diagramas da superfície topográfica com localização de poços amostrados e do nível hidrostatico com direção do fluxo subterrâneo e distribuição de RA da cidade de Manaus - AM.

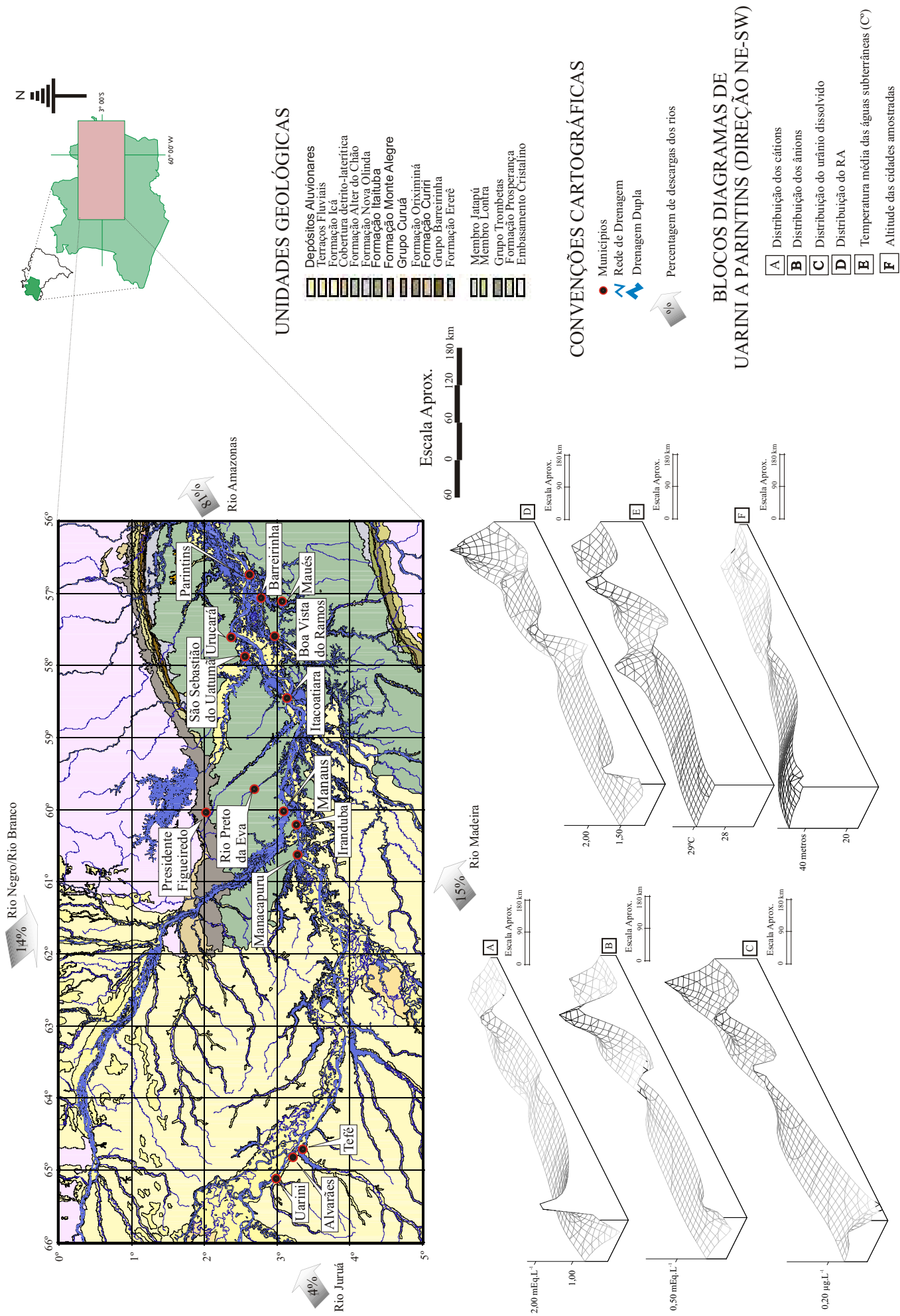


Figura 72. Mapa geológico da área de estudo e blocos diagramas da distribuição de cátions e ânions, urânio dissolvido, RA, temperatura média das águas subterrâneas e altitude das cidade amostradas no estado do Amazonas.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através do desenvolvimento deste trabalho, foi possível observar que a qualidade das águas subterrâneas de todas as cidades visitadas é apropriada para consumo humano e industrial, uma vez que foram determinadas concentrações baixas dos constituintes dissolvidos (urânio e demais elementos), inserindo-se todos eles no contexto dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente, com exceção de algumas amostras que foram contaminadas por possíveis falhas nas construções dos poços tubulares. Considerando-se os valores médios obtidos para os principais cátions, verificou-se que a abundância ocorre de acordo com a seqüência regional $K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$ e para os ânions $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$.

Os diagramas hidrogeoquímicos utilizados permitiram caracterizar o ambiente estudado (Formação Alter do Chão, Solimões e Nhamundá) como redutor e ácido, informações também confirmadas pelo emprego do modelo isotópico envolvendo o urânio dissolvido e a razão de atividade $^{234}U/^{238}U$.

Entretanto, quando se observa o comportamento dos cátions, ânions, urânio dissolvido e razão de atividade, nas águas de subsuperfície, é possível distinguir a Formação Solimões (menores picos) e a Alter do Chão (maiores picos), o que confirma que a hidroquímica elementar e isotópica de subsuperfície são boas ferramentas para caracterizar regiões com litologias distintas.

Tal modelo isotópico denotou a aplicabilidade do urânio nas áreas investigadas como um bom traçador hidrológico natural. Na cidade de Manaus foi observado acréscimo de razão de atividade na fase líquida no sentido do fluxo subterrâneo. Foram identificadas quatro regiões com tendência de aumento de razão de atividade, no sentido nordeste, isto é, de Uarini a Tefé, Manacapuru a Manaus, Presidente Figueiredo a São Sebastião do Uatumã e Boa Vista do Ramos a Barreirinha, as quais estão relacionadas a possíveis feições estruturais, à declividade da área de estudo, ao estreitamento da Bacia Sedimentar do Amazonas a partir do seu curso médio, e drenagem orientada pela tectônica. A descarga superficial das grandes bacias hidrográficas da região podem estar influenciando a dinâmica do fluxo subterrâneo, ocasionando diferenças de velocidades de percolação e conseqüentes mudanças nas distribuições desses elementos dissolvidos na área de estudo.

A vasta extensão da área investigada e as possibilidades de ocorrências de reações químicas ao longo das direções de fluxo subterrâneo são fatores que inserem dificuldades na avaliação detalhada do comportamento da razão de atividade, nos aquíferos estudados. Por outro lado, vale ressaltar que este trabalho é o primeiro que utiliza os isótopos de urânio no estudo de água subterrânea em uma área tão extensa na região amazônica, contribuindo assim, para abrir novas perspectivas para a pesquisa na região.

O gerenciamento da água subterrânea é de competência estadual, e a condição para que isto se realize é uma decisão política. Na Amazônia, pouca importância é dada à proteção dos recursos hídricos, tanto por parte dos órgãos públicos de proteção ambiental como pela própria população local. Em Manaus, existem milhares de poços tubulares e poços rasos de baixo rendimento, explorando o aquífero no nível freático mais elevado, oferecendo abastecimento não tratado, sem monitoração e proteção sanitária na maioria dos casos, gerando potenciais focos de contaminação.

Devido às características ambientais, geológicas, hidrogeológicas e uso potencial das águas subterrâneas da região amazônica, deve-se exercer proteção geral desses aquíferos, com medidas de controle das atividades locais, construção de poços com adequação às normas técnicas, fiscalização na exploração dessas águas, assim como, promover educação e conscientização ambiental para a preservação do meio ambiente como um todo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, C.J.B.; HORBE, M.A.; GASNIER, T. A vulnerabilidade do aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus – um caso de contaminação por amônia e nitrato. In: I Simpósio de Recursos Hídricos da Amazônia, 2003, Manaus. *Anais*. Manaus: ABRH, 2003. 01 CD-ROM.

ALVARENGA, T. A sinfonia da água. *Veja*. Rio de Janeiro, v.51, p. 42-51, 1997.

ANDRADE, A.F.N.; SILVA, M.S.R.; SILVA, M.L. Comparação das águas subterrâneas de uma bacia hidrográfica de Manaus com as do município de Iranduba. In: XIII Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq/FAPEAM/INPA, 2004, Manaus. *Anais*. Manaus: INPA, 2004. p. 266-67.

ANDRADE, C.A.C.; CUNHA, F.M. Revisão geológica da bacia paleozóica do Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1971, São Paulo. *Anais*. São Paulo: SBG, 1971. p. 93-112.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 16 ed. Washington: APHA, 1985. 1269p.

AMARAL, G. *Geologia pré-cambriana da região Amazônica*. São Paulo: USP, 1974. 212p. Tese (Livre Docência), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 1974.

AZEVEDO, A.A.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. Águas subterrâneas. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. *Geologia de engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998.

BARBOSA, G.V.; COSTA, R.C.V.; NATALI FILHO, T.; OLIVEIRA, A.A.B.; GARCIA, M.G.L. Geomorfologia. In: Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*. Brasília: DNPM, 1978. v.18.

BELTRÃO, O. *Realidade da Amazônia brasileira*. Fundação Biblioteca Nacional: Ministério da Cultura, 2002. 392p.

BENTO, A.H. *Mapeamento geotécnico da área urbana de Manaus – AM*. Manaus: UFAM, 1998. 182p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente), Universidade Federal do Amazonas, 1998.

BETEJTIN, A. *Curso de mineralogia*. 2 ed. Moscú: Editorial Mir, 1970. 720p.

BONOTTO, D.M. *Aplicação dos dados de fracionamento isotópico $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ nos problemas geoquímicos dos aquíferos de Águas de Prata (SP)*. São Paulo: USP, 1982. 161p. Dissertação (Mestrado em Geofísica), Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, 1982.

BONOTTO, D.M. *Aplicações hidrogeoquímicas dos isótopos naturais das séries do U ($4n+2$) e Th ($4n$) no Morro do Ferro, Poços de Caldas (MG)*. São Paulo: USP, 1986. 377p. Tese (Doutorado em Geofísica), Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, 1986.

BONOTTO, D.M. *Comportamento hidrogeoquímico do ^{222}Rn e isótopos de urânio ^{238}U e ^{234}U sob condições controladas de laboratório e em sistemas naturais*. Rio Claro: UNESP, 1996. 223p. Tese (Livre docência), Universidade Estadual Paulista, 1996.

BOURLON, N.; BERTHON, D. Desenvolvimento sustentável e gerenciamento das bacias hidrográficas na América Latina. *Água em Revista*, Rio de Janeiro, n.10, p. 16-22, 1998.

BRANCO, S.M. A água como meio ecológico. In: CETESB/ASCETESB. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 3 ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.

BRANCO, S.M. *O desafio amazônico*. São Paulo: Moderna, 1989. 103p.

BRINKMANN, W.L.F.; SANTOS, A. Natural waters in Amazônia. *Acta Amaz.*, Manaus, v.3, p. 33-40, 1973.

BRITO, I.M. *Bacias sedimentares e formações pós-paleozóicas do Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência, 1979. 179p.

CAPUTO, M.V.; RODRIGUEZ, R.; VASCONCELOS, D.N.N. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas; histórico e atualização. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1997, Belém. *Anais*. Belém: SBG, 1972. p. 35-46.

CASTANY, G. *Tratado práctico de las águas subterráneas*. Barcelona: Omega, 1971. 672p.

CETESB. *Água subterrânea e poços tubulares*. 3 ed. São Paulo: CETESB, 1978. 483p.

CHAVEL, A. Contribuição para o estudo da evolução dos latossolos am arelos, distróficos, argilosos na borda do platô, na região de Manaus: mecanismos da gibbsitização. *Acta Amaz.*, Manaus, v.11, p. 227-45, 1982.

CNEN. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Diretrizes básicas de radioproteção*. Rio de Janeiro: CNEN, 1988. 129p.

COWART, J.B.; OSMOND, J.K. *Uranium isotopes in groundwater as a prospecting technique*. Colorado: U.S. Dept. of Energy, 1980. 112p.

CORDANI, U.; NEVES, B.B.; FUCK, R.A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F.M.B. Estudo preliminar de integração do pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. *Série Ciência-Técnica-Petróleo*, Rio de Janeiro, n. 15, 1984.

COSTA, A.M.R.; WAICHMAN, A.; SANTOS, E.E.A. Uso da água subterrânea na área urbana de Manaus. In: I Simpósio de Recursos Hídricos da Amazônia, 2003, Manaus. *Anais*. Manaus: ABRH, 2003. 01 CD-ROM.

COSTA, J.B.S.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; BEMERGUY, R.L. Arcabouço tectônico mesozóico-cenozóico da região da calha do rio Amazonas. *Geociências*, São Paulo, v.14, p. 77-103, 1995.

CPRM. COMPANIA DE PRODUÇÃO E RECURSOS MINERAIS. *A água em revista*, Belo Horizonte, v.3, n.5, p. 72-3, 1995.

CPRM. COMPANIA DE PRODUÇÃO E RECURSOS MINERAIS. *Geologia e recursos minerais da Amazônia brasileira*: SIG. Mapa 1:1.750.000. Brasília: CPRM, 2002. 04 CD-ROMS.

CPRM. COMPANIA DE PRODUÇÃO E RECURSOS MINERAIS. *Carta hidrogeológica de cidade de Manaus*. Manaus: CPRM, 2002a. 01 CD-ROM. Relatório preliminar.

CUNHA, H.B.; BRINGEL, S.R.B; FRANKEN, W.K. Hidroquímica da bacia hidrográfica do rio Preto da Eva. In: I Simpósio de Recursos Hídricos da Amazônia, 2003, Manaus. *Anais*. Manaus: ABRH, 2003. 01 CD-ROM.

CUNHA, P.R.C.; GONZAGA, F.G.; COUTINHO, L.F.C.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. *Bol. Geocienc.*, Rio de Janeiro, v.8, p.47-55, 1994.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, R.M. *Hidrología subterránea*. Barcelona: Omega, 1976. Tomo I, p.287-384.

DAMIÃO, R.N.; SOUZA, M.M.; MEDEIROS, M.F. *Projeto argila Manaus*. Manaus: DNPM/CPRM, 1972. 65p. Relatório interno.

DNPM. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. *Geologia do Brasil*. Brasília: DNPM, 1984.

DREW, D. *Processos interativos homem-meio ambiente*. São Paulo: DIFEL, 1986. 206 p.

EIRAS, J.F.; BECKER, C.R.; SOUZA, E.M.; GONZAGA, F.G.; SILVA, J.G.F.; DANIEL, L.M.F.; MATSUDA, N.S.; FEIJÓ, F. Bacia do Amazonas. *Bol. Geoc.*, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p. 17-45, 1994.

ELIAS, A.S.S.; SILVA, M.S.R. Avaliação da composição dos sedimentos da margem do rio Negro em frente à cidade de Manaus. In: IX Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA, 2000, Manaus. *Anais*. Manaus: INPA, 2000. p. 321-25.

ELIAS, A.S.S.; SILVA, M.S.R. Hidroquímica das águas e quantificação de metais pesados nos sedimentos das bacias hidrográficas de área urbana de Manaus, que deságuam no rio Negro. In: X Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA, 2001, Manaus. *Anais*. Manaus: INPA, 2001. p. 402-05.

Esteves, 1998

FENZL, N. *Introdução à hidrogeoquímica*. Belém: Universidade Federal do Pará, 1988. 189p.

FERNANDES FILHO, L.A., COSTA, M.L., COSTA, J.B.S. Registros neotectônicos nos lateritos de Manaus-AM. *Geociências*, São Paulo, v.16, p. 9-33, 1997.

FIRESTONE, R.B. *Table of isotopes*. 8 ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. Appendix A.4-5.

FORTI, M.C.; MOREIRA-NORDEMANN, L.M. Rainwater and throughfall chemistry in a “terra firme” rain forest: Central Amazonia. *Geophys. Res.*, v.96, p.7415-21, 1991.

FOSTER, S., HIRATA, R. *Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes*. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 92p.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E; RIBEIRO, M.N.G. Estudo da interceptação da água de chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. *Acta Amaz.*, Manaus, v.12, p. 327-31, 1992.

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

GOLDSCHMIDT, V.M. *Geochemistry*. Oxford: Clarendon Press, 1954. 730p.

GOLTERMAN, H.; CLYMO, R.S.; OHMSTAD, M.A.M. *Methods for physical & chemical analysis of freshwater*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. 213p. (Handbook n. 8).

GOMES, F.V.M. *Aplicação dos isótopos do urânio como traçadores de água subterrânea do Bambuí-BA*. Salvador: UFBA, 1978. 69p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica), Universidade Federal da Bahia, 1978.

GOULDING, M.; BARTHEM, R; FERREIRA, E. *The Smithsonian atlas of the Amazon*. Washington and London: Smithsonian books, 2003. 155p.

HARDY, E.R. Composição do zooplâncton em cinco lagos da Amazônia Central. *Acta Amaz.*, Manaus, v.10, p. 577-609, 1980.

HIRATA, R. Recursos hídricos. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Orgs). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

HOREL,

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Geografia do Brasil: região norte*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 463p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/cidadesat/ufs/am.html>> acesso em: 16, mai. 2002.

IRION, G.E.; MÜLLER, J.; MELLO, J.N.; JUNK, W. Quaternary geology of the central Amazonian lowland area. *Rev. IG.*, São Paulo, v.15, p.27-33, 1994.

JAVARONI, J.H.; MACIEL, A.C. Prospecção e pesquisa de urânio no Brasil: Atuação na NUCLEBRÁS (1975-1984). In: Departamento Nacional da Produção Mineral. *Principais depósitos minerais do Brasil*. Brasília: DNPM, 1985.

JORGE, F.N.; UEHARA, K. Águas de superfície. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Orgs). *Geologia de engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998.

JUNK, W.J. Recursos hídricos da região amazônica: utilização e preservação. *Acta Amaz.*, Manaus, v.9, p. 37-51, 1979.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Orgs). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

KLAR, A.E. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. Nobel: Rio de Janeiro, 1984. 408p.

KRAUSKOPF, K.B. *Introdução à geoquímica*. São Paulo: Polígono, 1972. v.2, 311p.

KU, T.L. The uranium: series methods of age determination. *An. Rer. Earth Plan. Sci.*, v.4, p. 347-79, 1976.

KÜCHLER, I.L.; MIEKELEY, N.; FORSBERG, B.R. A contribution to the chemical characterization of rivers in the Rio Negro basin, Brazil. *J. Braz. Chem. Soc.*, Rio de Janeiro, v11, p. 286-92, 2000.

LANGMUIR, D. Uranium solution - mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits. *Geochim. Cosmochim.*, Pennsylvania, v.42, p. 547-68, 1978.

LEAL, M.S. *Gestão ambiental de recursos hídricos: princípios e aplicações*. Rio de Janeiro: CPRM, 1998. 176p.

LIMA, J.L.N. *Implementação de metodologia para a mensuração de ^{222}Rn e sua aplicação no estudo da radioatividade das águas de Água de Prata (SP)*. Rio Claro: IGCE-UNESP, 1993. 155p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista, 1993.

LIMA, J.E.F.W.; KOSUTH, P.; OLIVEIRA, E. *Hidrologia na bacia amazônica: a experiência do projeto hibam*. Brasília: ANA, 2004. p. 257-74.

LOURENÇO, R.S.; MONTALVÃO, R.M.G.; PINHEIRO, S.S.; FERNANDES, P.E.C.A.; PEREIRA, E.R.; FERNANDES, C.A.C.; TEIXEIRA, W. Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*. Brasília: DNPM, 1978. v.18.

MACIEL FILHO, C.L. *Introdução à geologia de engenharia*. 2 ed. Santa Maria: UFSM; Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, 1997. 284p.

MAIA NETO, R.F.; LOPES, E.S. As cheias de Manaus. *Água Rev.*, Belo Horizonte, v.2, p. 31-43, 1994.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: CPRM/REFO, LABHID-UFPE. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 2 ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.

MARTINELLI, L.A.; DEVOL, A.H.; FORSBERG, B.R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E.; RIBEIRO, M.N.G. Descarga de sólidos dissolvidos totais do rio Amazonas e seus principais tributários. *Geochim. Bras.*, Rio de Janeiro, v. 3, p. 141-8, 1989.

MERA, P.A.S.; APRILE, F.M.; DARWICH, A.J.; LOPES, U.B.; RAPOSO, J.C.P. Relação entre a formação geológica e as características físico-químicas das águas do rio Amazonas na região de Itacoatiara - AM. In: I Simpósio de Recursos Hídricos da Amazônia, 2003, Manaus. *Anais*. Manaus: ABRH, 2003. 01 CD-ROM.

MESTRINHO, S.S.P. *Geoquímica e contaminação de águas subterrâneas*. Salvador: UFBA, 2000. 118p. Apostila.

MOLION, L.C.B. A Amazônia e o clima da terra. *Ciênc. Hoje*. Rio de Janeiro, v.8, p. 42-7, 1988.

MOORE, W.S. Amazon and Mississippi river concentrations of uranium, thorium and radium isotopes. *Earth Planet. Sci. Letters*, USA, v.2, p. 231-34, 1967.

MORAES, E.L.; COSTA, M.L. O caulim de Manaus-Itacoatiara: aspectos mineralógicos e geoquímicos. *Geociências*, São Paulo, v.16, p. 35-53, 1997.

MORAIS, J.O. Geologia no planejamento ambiental: Impactos na água. *Rev. Geol.*, São Paulo, v.8, p. 229-51, 1995.

NAVA, D.B. *Projeto grande Manaus*. Manaus: CPRM, 1996. 21p. Relatório interno.

NEIVA, M.; CUNHA, H.B. Estudo da dinâmica e fluxo de nutrientes na bacia hidrográfica do rio Preto da Eva. In: VIII Jornada de Iniciação Científica do INPA, 2003, Manaus. *Anais*. Manaus: INPA, 2003. p. 205-08.

NIMER, E. Clima. In: IBGE. *Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989a. 422p.

OSMOND, J.K.; COWART, J. B. The theory and uses of natural uranium isotopic variations in hydrolog. *At. Energy Rev.*, USA, v.14, p. 621-79, 1976.

PETRELLA, R. *O manifesto da água: argumentos para um contrato mundial*. Rio de Janeiro: Vozes, 2002. 159p.

PETRI, S.; FÚLFARO, V.J. *Geologia do Brasil: fanerozóico*. São Paulo: Edusp, 1988. v.9, 631p.

PINTO, A.G.N; HORBE, A.M.C.; OLIVEIRA, L.G.S.; SILVA, M.S.R. Distribuição dos metais Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn no rio Negro, orla de Manaus. In: VIII Simpósio de Geologia da Amazônia, 2003, Manaus. *Anais*. Manaus: PETROBRAS/CNPq, 2003. 01 CD-ROM.

PINTO, A.G.N. *Geoquímica dos sedimentos de fundo do rio Negro na orla de Manaus/AM*. Manaus: UFAM, 2004. 100p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Amazonas, 2004.

PINTO, N.L.S. Introdução. In: SBGE. *Hidrologia de superfície*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

PORRO, A. *O povo das águas: ensaios de etno-história amazônica*. Rio de Janeiro: Vozes, 1995. 204p.

PRANCE, G.T.; LOVEJOY, T.E. *Amazônia: key environments*. Oxford: Pergamon Press, 1985. p.4.

RADIOBRAS. *Movimento de cidadania pelas águas*. Disponível em: <<http://www.radiobras.gov.br/agua.html>> acesso em: 20, abr. 1997.

RAMOS, A.M.; SILVA, M.S.R. Avaliação e quantificação de metais pesados nas águas subterrâneas de Manaus-AM. In: XII Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA/CNPq, 2003, Manaus. *Anais*. Manaus: INPA, 2003. p. 207-08.

REBOUÇAS, A.C. *Panorama da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil*. São Paulo: IEA/USP; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997. 150 p.

REBOLÇAS, A.C. Águas subterrâneas: fator para desenvolvimento. *Rev. Águas Subt.*, Rio de Janeiro, v.3, p. 31-43, 1981.

RIBEIRO, M.N.G. Aspectos climáticos de Manaus. *Acta Amaz.*, Manaus, v.6, p. 229-33, 1976.

SALATI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Floresta a e Clima. *Acta Amaz.*, Manaus, v.4, p. 15-22, 1979.

SALATI, E.; MARQUES,

SANTOS, A.C. Noções de hidroquímica. In: CPRM/REFO, LABHID-UFPE. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 2 ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.

SANTOS, A.; RIBEIRO, M.N.G.; RIBEIRO, J.J. Nitrogênio na água do solo do ecossistema Campina Amazônica. *Acta Amaz.*, Manaus, v.5, p. 173-82, 1975.

SANTOS, B.A. *Amazônia: potencial mineral e perspectiva de desenvolvimento*. São Paulo: Queroz, 1981. p. 31-71.

SANTOS, U.M.; RIBEIRO, M.N.G. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. *Acta Amaz.*, Manaus, v.18, p. 145-72, 1988.

SANTOS, A.; RIBEIRO, M.N.G.; RIBEIRO, J.S.; BRINGEL, S.R.B. Hidroquímica da Amazônia Central III: Química da água de lavagem da floresta no ecossistema Campina Amazônia (Stemflow). *Acta Amaz.*, Manaus, v.11, p. 335-46, 1981.

SCHOELLER, H. *Les eaux souterraines*. Paris: Masson & Cie., 1962. 642p.

SILVA, M.L. *Hidroquímica elementar e dos isótopos de urânio no aquífero de Manaus – AM*. Rio Claro: UNESP, 1999. 82p. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos), Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, 1999.

SILVA, M.L. Características das águas subterrâneas numa faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM). *Rev. Esc. de Minas*, Belo Horizonte, v. 54, p. 115-20, 2001.

SILVA, M.R.S. *Distribuição e partição geoquímica de metais pesados em igarapés da cidade de Manaus*. Belém: UFPA, 1996. 120p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica), Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 1996.

SIMÕES, C.A.; CUNHA, H.B. Analisar a variabilidade da composição química da solução que percola através do ecossistema de floresta de terra firme na bacia hidrográfica do rio

Preto da Eva. In: VIII Jornada de Iniciação Científica do INPA, 1999, Manaus. *Anais*. Manaus: INPA, 1999. p. 194-97.

SIMÕES, C.A.; CUNHA, H.B. Caracterização físico-química das águas do rio Negro e seus tributários. In: IX Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA, 2000, Manaus. *Anais*. Manaus: INPA, 2000. p. 325-28.

SINELLI, O. *Geologia e água subterrânea no município de Ribeirão Preto e adjacências*. Ribeirão Preto: USP, 1970. 116p. Tese (Doutorado), Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, 1970.

SINELLI, O. *Química das águas subterrâneas: Aplicação a águas subterrâneas do Brasil Meridional*. Ribeirão Preto: USP, 1979. 130p. Tese (Livre Docência), Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, 1979.

SIOLI, H. *Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais*. Rio de Janeiro: Vozes, 1985. 72p.

SOARES, L.C. Hidrologia. In: IBGE. *Geografia do Brasil: região norte*. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

SOUZA, M.M. Dois poços tubulares anômalos, em Manaus - AM. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1994, Recife. *Anais*. Recife: SBG, 1994. p. 323-8.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. A manual of sea water analysis. *Bull. Fish Res. Bd. Can.*, Canada, v.125, p. 1-185, 1968.

SUDENE. *Elementos de hidrogeologia - prática*. 2 ed. 1972. 353p.

SUGUIO, K. *Geologia do quaternário e mudanças ambientais: (passado + presente = futuro ?)*. São Paulo: Paulo's, 1999. 366 p.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. *Ambientes fluviais*. 2 ed. Florianópolis: UFSC, 1990. 183p.

TANCREDI, A.C.F.S. *Recursos hídricos subterrâneos de Santarém*: fundamentos para uso e proteção. Belém: UFPA, 1996. 146p. Tese (Doutorado em Geoquímica), Universidade Federal do Pará, 1996.

TANCREDI, A.C.F.S.; LOBATO, J.R.B.; SERRA, V.H. Interpretação hidrogeoquímica das águas subterrâneas da ilha de Marajó. *Acta Amaz.*, Manaus, v.16/17, p. 293-316, 1987.

TODD, D.K. *Groundwater hydrology*. New York: John Wiley & Sons, 1980. 535p.

VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E.; MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. *Acta Amaz.*, Manaus, v.6, p. 215-28, 1976.

VILLIERS, M. *Água*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002. 457p.

WAICHMAN A.V.; SILVA, M.S.R.; PINTO, A.G.N.; SILVA, M.L. Influência das ações antrópicas nas águas da Amazônia. In: ANA. *Estado das águas no Brasil: 2001–2002*. Brasília: ANA, 2003.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs257/en/print.html> acesso em: 11, fev. 2005.

Anexo 1.

Valores e percentuais das variáveis em mEq.L⁻¹, resultados das análises de urânio e valores médios para as águas subterrâneas em cidades do estado do Amazonas

Tabela 03. Valores das variáveis (em mEq.L⁻¹) analisadas para as águas subterrâneas das cidades de Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo e Manaus - AM

AMOSTRA/ POÇO	CIDADE/ MUNICÍPIO	Ca ⁺² (mEq.L ⁻¹)	Mg ⁺² (mEq.L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mEq.L ⁻¹)	Na ⁺ (mEq.L ⁻¹)	K ⁺ (mEq.L ⁻¹)	Cl ⁻ (mEq.L ⁻¹)	SO ₄ ⁻² (mEq.L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mEq.L ⁻¹)
01	ITACOATIARA	0,001	0,221	-	0,561	0,081	0,030	0,020	0,056
02	ITACOATIARA	0,283	0,470	0,922	0,139	0,473	0,036	0,039	0,001
03	ITACOATIARA	0,320	0,413	0,950	0,208	0,503	0,038	0,020	0,001
04	ITACOATIARA	0,135	0,247	0,753	0,374	0,255	0,032	0,020	0,001
05	ITACOATIARA	0,206	0,353	0,819	0,187	0,424	0,028	0,020	0,001
06	ITACOATIARA	0,248	0,288	0,885	0,343	0,391	0,032	0,020	0,001
07	ITACOATIARA	0,205	0,319	0,819	0,356	0,189	0,030	0,020	0,001
08	RIO PRETO DA EVA	0,021	0,243	-	0,182	0,033	0,036	0,020	0,002
09	MANACAPURU	0,123	0,118	0,329	0,082	0,230	0,038	0,020	0,010
10	MANACAPURU	0,286	0,196	0,699	0,060	0,370	0,024	0,020	0,003
11	MANACAPURU	0,200	0,222	-	0,065	0,248	0,030	0,020	0,007
12	MANACAPURU	0,063	0,118	0,109	0,034	0,089	0,032	0,020	0,006
13	MANACAPURU	0,189	0,191	0,499	0,073	0,263	0,040	0,020	0,007
14	MANACAPURU	0,033	0,059	0,009	0,021	0,023	0,042	0,020	0,001
15	MANACAPURU	0,160	0,395	0,869	0,052	0,350	0,032	0,020	0,002
16	IRANDUBA	0,044	0,076	0,109	0,308	0,071	0,200	0,020	0,013
17	IRANDUBA	0,054	0,080	-	0,317	0,028	0,156	0,020	0,059
18	IRANDUBA	0,068	0,043	-	0,043	0,005	0,033	0,020	0,012
19	PRESIDENTE FIGUEIREDO	0,011	0,011	-	0,087	0,015	0,028	0,020	0,007
20	PRESIDENTE FIGUEIREDO	0,004	0,016	-	0,043	0,007	0,022	0,020	0,006
21	MANAUS	0,092	0,132	0,011	0,043	0,204	0,028	0,020	0,001
22	MANAUS	0,011	0,028	0,049	0,026	0,140	0,028	0,020	0,001
23	MANAUS	0,012	0,051	0,001	0,100	0,112	0,054	0,020	0,012
24	MANAUS	0,020	0,028	-	0,030	0,002	0,034	0,020	0,001
25	MANAUS	0,016	0,008	0,001	0,078	0,030	0,030	0,020	0,008
26	MANAUS	0,060	0,190	0,649	1,587	0,140	0,028	0,020	0,001
27	MANAUS	0,327	0,124	0,629	0,065	0,127	0,028	0,020	0,002
28	MANAUS	0,024	0,014	0,001	0,104	0,023	0,070	0,020	0,011
29	MANAUS	0,128	0,081	-	0,317	0,115	0,274	0,020	0,050
30	MANAUS	0,001	0,020	0,009	0,060	0,035	0,040	0,020	0,002
31	MANAUS	0,010	0,021	0,019	0,030	0,115	0,042	0,020	0,001
32	MANAUS	0,015	0,042	0,079	0,034	0,204	0,026	0,020	0,001
33	MANAUS	0,018	0,044	0,099	0,034	0,227	0,032	0,020	0,001
34	MANAUS	0,006	0,014	-	0,165	0,010	0,096	0,020	0,007
35	MANAUS	0,037	0,066	0,259	0,030	0,265	0,034	0,020	0,001
36	MANAUS	0,006	0,024	0,001	0,073	0,010	0,040	0,020	0,001
37	MANAUS	0,015	0,049	0,010	0,152	0,158	0,108	0,020	0,024
38	MANAUS	0,008	0,012	-	0,008	0,002	0,034	0,020	0,001
39	MANAUS	0,025	0,068	0,179	0,139	0,263	0,094	0,020	0,021
40	MANAUS	0,013	0,039	0,129	0,026	0,209	0,042	0,020	0,002
41	MANAUS	0,013	0,020	0,009	0,013	0,056	0,038	0,020	0,001
42	MANAUS	0,008	0,043	0,129	0,082	0,235	0,070	0,020	0,001
43	MANAUS	0,025	0,024	0,119	0,030	0,248	0,042	0,002	0,001
44	MANAUS	0,001	0,016	-	0,100	0,005	0,058	0,002	0,008

Tabela 03a. Valores das variáveis (em mEq.L⁻¹) analisadas para as águas subterrâneas das cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos, Urucará, São Sebastião do Uatumã, Tefé, Alvarães e Uarini - AM

AMOSTRA	CIDADE/ MUNICÍPIO	Ca ⁺² (mEq.L ⁻¹)	Mg ⁺² (mEq.L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mEq.L ⁻¹)	Na ⁺ (mEq.L ⁻¹)	K ⁺ (mEq.L ⁻¹)	Cl ⁻ (mEq.L ⁻¹)	SO ₄ ⁻² (mEq.L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mEq.L ⁻¹)
45	VILA AMAZÔNIA/ PARINTINS	0,063	0,071	0,108	0,038	0,066	0,039	0,020	0,000
46	VILA AMAZÔNIA/ PARINTINS	0,013	0,062	0,130	0,028	0,078	0,034	0,020	0,000
47	PARINTINS	0,219	0,144	0,752	0,178	0,679	0,202	0,020	0,000
48	PARINTINS	0,009	0,018	0,247	0,020	0,144	0,047	0,020	0,000
49	PARINTINS	0,009	0,045	0,056	0,005	0,044	0,009	0,020	0,000
50	PARINTINS	0,009	0,060	0,478	0,025	0,306	0,041	0,020	0,000
51	BARREIRINHA	0,009	0,031	0,065	0,104	0,024	0,0008	0,020	0,000
52	BARREIRINHA	0,009	0,033	0,056	0,069	0,040	0,0009	0,020	0,000
53	VERA CRUZ/MAUÉS	0,023	0,046	0,030	0,002	0,034	0,002	0,020	0,000
54	CANARANA/ MAUÉS	0,039	0,042	0,034	0,002	0,024	0,002	0,020	0,000
55	MAUÉS	0,065	0,068	0,478	0,081	0,394	0,100	0,020	0,000
56	MAUÉS	0,010	0,009	0,143	0,002	0,054	0,013	0,020	0,000
57	MAUÉS	0,000	0,010	0,065	0,002	0,044	0,007	0,020	0,000
58	MAUÉS	0,012	0,005	0,039	0,002	0,030	0,003	0,020	0,000
59	BOA VISTA DO RAMOS	0,007	0,007	0,034	0,002	0,030	0,002	0,020	0,000
60	BOA VISTA DO RAMOS	0,004	0,015	0,039	0,002	0,030	0,003	0,020	0,000
61	URUCARÁ	0,001	0,022	0,378	0,007	0,104	0,038	0,020	0,000
62	URUCARÁ	0,001	0,024	0,043	0,005	0,034	0,002	0,020	0,009
63	URUCARÁ	0,006	0,014	0,047	0,005	0,040	0,002	0,020	0,020
64	URUCARÁ	0,004	0,019	0,060	0,017	0,040	0,001	0,020	0,030
65	BONANÇA/ URUCARÁ	0,004	0,021	0,117	0,017	0,069	0,0006	0,020	0,020
66	AMANARI/ URUCARÁ	0,010	0,042	0,047	0,102	0,029	0,002	0,020	0,030
67	BOA ESPERANÇA/ URUCARÁ	0,001	0,026	0,073	0,007	0,042	0,009	0,020	0,000
68	CASTANHAL/ URUCARÁ	0,001	0,016	0,039	0,017	0,040	0,004	0,020	0,020
69	SÃO SEBASTIÃO DO UATUMÃ	0,123	0,060	0,060	0,184	0,029	0,002	0,020	0,249
70	SÃO SEBASTIÃO DO UATUMÃ	0,028	0,094	0,047	0,181	0,036	0,002	0,020	0,249
71	SÃO SEBASTIÃO DO UATUMÃ	0,053	0,133	0,047	0,179	0,038	0,001	0,020	0,259
72	TEFÉ	2,450	4,033	0,229	0,148	0,074	0,142	0,020	0,102
73	TEFÉ	0,045	0,022	0,289	0,169	0,058	0,031	0,020	0,003
74	TEFÉ	0,086	0,053	0,399	0,178	0,058	0,040	0,020	0,001
75	TEFÉ	1,387	4,076	0,569	0,282	0,084	0,031	0,020	0,000
76	TEFÉ	1,176	3,623	0,489	0,282	0,076	0,022	0,020	0,000
77	TEFÉ	0,018	0,028	0,219	0,104	0,084	0,018	0,020	0,001
78	TEFÉ	0,008	0,047	0,259	0,139	0,076	0,027	0,020	0,002
79	ALVARÃES	0,034	0,017	0,109	0,143	0,023	0,158	0,020	0,008
80	ALVARÃES	0,012	0,038	0,091	0,113	0,025	0,096	0,020	0,009
81	UARINI	0,004	0,006	0,059	0,143	0,033	0,054	0,020	0,021
82	UARINI	0,004	0,007	0,079	0,056	0,025	0,031	0,020	0,003

Tabela 04. Percentuais das variáveis (em mEq.L⁻¹) analisadas para as águas subterrâneas das cidades de Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo e Manaus - AM

AMOSTRA	CIDADE/ MUNICÍPIO	%Ca ⁺²	%Mg ⁺²	%Na ⁺ + K ⁺	%Cl ⁻ + NO ₃ ⁻	%HCO ₃ ⁻	%SO ₄ ⁻²
01	ITACOATIARA	0,12	25,58	74,30	81,32	0,00	18,68
02	ITACOATIARA	20,73	34,43	44,84	3,70	92,38	3,92
03	ITACOATIARA	22,16	28,60	49,24	3,86	94,15	1,99
04	ITACOATIARA	13,35	24,43	62,22	4,09	93,42	2,49
05	ITACOATIARA	17,60	30,17	52,23	3,34	94,35	2,31
06	ITACOATIARA	19,53	22,68	57,79	3,52	94,35	2,13
07	ITACOATIARA	19,18	29,84	50,98	3,58	94,13	2,29
08	RIO PRETO DA EVA	4,38	50,73	44,89	65,52	0,00	34,48
09	MANACAPURU	22,24	21,34	56,42	12,10	82,87	5,03
10	MANACAPURU	31,36	21,49	47,15	3,63	93,69	2,68
11	MANACAPURU	27,21	30,20	42,59	64,91	0,00	35,09
12	MANACAPURU	20,73	38,81	40,46	22,76	65,27	11,97
13	MANACAPURU	26,40	26,67	46,92	8,31	88,16	3,53
14	MANACAPURU	24,26	43,38	32,36	59,73	12,50	27,77
15	MANACAPURU	16,72	41,27	42,01	3,70	94,14	2,16
16	IRANDUBA	8,82	15,23	75,95	62,29	31,87	5,84
17	IRANDUBA	11,27	16,70	72,03	91,49	0,00	8,51
18	IRANDUBA	42,76	27,04	30,20	69,24	0,00	30,76
19	PRESIDENTE FIGUEIREDO	8,87	8,87	82,26	63,64	0,00	36,36
20	PRESIDENTE FIGUEIREDO	5,71	22,85	71,44	58,34	0,00	41,66
21	MANAUS	19,53	28,02	52,45	48,34	18,33	33,33
22	MANAUS	5,36	13,66	80,98	29,59	50,00	20,41
23	MANAUS	4,36	18,54	77,10	75,86	1,15	22,99
24	MANAUS	25,00	35,00	40,00	63,64	0,00	36,36
25	MANAUS	12,12	6,06	81,82	64,42	1,69	33,89
26	MANAUS	3,03	9,61	87,36	4,16	92,98	2,86
27	MANAUS	50,85	19,28	29,87	4,43	92,63	2,94
28	MANAUS	14,54	8,48	76,98	79,42	0,98	19,60
29	MANAUS	19,96	12,63	67,41	94,19	0,00	5,81
30	MANAUS	0,86	17,24	81,90	59,16	12,67	28,17
31	MANAUS	5,68	11,93	82,39	52,44	23,17	24,39
32	MANAUS	5,08	14,23	80,69	21,44	62,69	15,87
33	MANAUS	5,57	13,62	80,81	21,72	65,13	13,15
34	MANAUS	3,07	7,18	89,75	83,74	0,00	16,26
35	MANAUS	9,29	16,58	74,13	11,15	82,48	6,37
36	MANAUS	5,30	21,23	73,47	66,14	1,61	32,25
37	MANAUS	4,01	13,10	82,89	81,49	6,17	12,34
38	MANAUS	26,66	40,00	33,34	63,64	0,00	36,36
39	MANAUS	5,05	13,73	81,22	36,63	57,00	6,37
40	MANAUS	4,52	13,58	81,90	22,80	66,84	10,36
41	MANAUS	12,74	19,60	67,66	57,36	13,23	29,41
42	MANAUS	2,17	11,68	86,15	32,28	58,63	9,09
43	MANAUS	7,64	7,33	85,03	23,64	65,38	10,98
44	MANAUS	0,82	13,11	86,07	76,75	0,00	23,25

Tabela 04a. Percentuais das variáveis (em mEq.L⁻¹) analisadas para as águas subterrâneas das cidades de Parintins, Barreirinha, Maués, Boa Vista do Ramos, Urucará, São Sebastião do Uatumã, Tefé, Alvarães e Uarini – AM

AMOSTRA	CIDADE/ MUNICÍPIO	%Ca ⁺²	%Mg ⁺²	%Na ⁺ + K ⁺	%Cl ⁻ + NO ₃ ⁻	%HCO ₃ ⁻	%SO ₄ ⁻²
45	VILA AMAZÔNIA/ PARINTINS	26,47	29,83	43,70	88,03	0,00	11,97
46	VILA AMAZÔNIA/ PARINTINS	7,18	34,25	58,57	89,14	0,00	10,86
47	PARINTINS	17,9	11,80	70,30	97,47	0,00	2,53
48	PARINTINS	4,71	9,42	85,87	93,63	0,00	6,37
49	PARINTINS	8,73	43,68	47,59	76,47	0,00	23,53
50	PARINTINS	2,25	15,00	82,75	96,29	0,00	3,71
51	BARREIRINHA	5,35	18,45	76,20	76,47	0,00	23,53
52	BARREIRINHA	5,96	21,85	72,19	73,69	0,00	26,31
53	VERA CRUZ/MAUÉS	21,90	43,80	34,30	61,54	0,00	38,46
54	CANARANA/ MAUÉS	36,44	39,25	24,31	64,29	0,00	35,71
55	MAUÉS	10,69	11,18	78,13	96,66	0,00	3,34
56	MAUÉS	13,33	12,00	74,67	88,64	0,00	11,36
57	MAUÉS	1,75	17,54	80,71	78,26	0,00	21,74
58	MAUÉS	24,48	10,20	65,32	67,75	0,00	32,25
59	BOA VISTA DO RAMOS	15,21	15,21	69,58	64,29	0,00	35,71
60	BOA VISTA DO RAMOS	7,84	29,41	62,75	67,74	0,00	32,26
61	URUCARÁ	0,74	16,41	82,85	95,42	0,00	4,58
62	URUCARÁ	1,56	37,50	60,94	60,81	12,17	27,02
63	URUCARÁ	9,23	21,53	69,24	55,05	22,48	22,47
64	URUCARÁ	5,00	23,75	71,25	54,95	27,04	18,01
65	BONANÇA/ URUCARÁ	3,60	18,91	77,49	74,62	12,69	12,69
66	AMANARI/ URUCARÁ	5,46	22,95	71,59	49,49	30,31	20,20
67	BOA ESPERANÇA/ URUCARÁ	1,31	34,21	64,48	80,39	0,00	19,61
68	CASTANHAL/ URUCARÁ	1,35	21,62	77,03	51,80	24,11	24,09
69	SÃO SEBASTIÃO DO UATUMÃ	31,06	15,15	53,79	18,73	75,23	6,04
70	SÃO SEBASTIÃO DO UATUMÃ	8,25	27,72	64,03	15,40	78,31	6,29
71	SÃO SEBASTIÃO DO UATUMÃ	13,15	33,00	53,85	14,67	79,22	6,11
72	TEFÉ	36,54	60,15	3,31	49,50	46,45	4,05
73	TEFÉ	15,30	7,48	77,22	9,92	84,25	5,83
74	TEFÉ	22,93	14,13	62,94	8,92	86,74	4,34
75	TEFÉ	23,79	69,92	6,29	5,01	91,77	3,22
76	TEFÉ	22,80	70,25	6,95	4,15	92,09	3,76
77	TEFÉ	7,69	11,96	80,35	7,37	84,88	7,75
78	TEFÉ	2,96	17,40	79,64	9,42	84,09	6,49
79	ALVARÃES	15,66	7,83	76,51	56,28	36,94	6,78
80	ALVARÃES	6,38	20,21	73,41	48,61	42,13	9,26
81	UARINI	2,15	3,22	94,63	48,71	38,31	12,98
82	UARINI	4,34	7,60	88,06	25,58	59,39	15,03

Anexo 2.

Logística de amostragem

Logística de amostragem

Para o desenvolvimento do trabalho, houve primeiramente a promoção de Manaus como cidade sede. A partir de Manaus, o acesso aos demais municípios – tanto por rodovia, aéreo ou fluvial - é facilitado por se tratar da capital do Estado, além ser a sede do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA, a sede da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM-MANAUS e empresas de perfuração.

A primeiramente coleta foi em Itacoatiara e totalizou 07 amostras. O acesso foi pela rodovia AM-10 com automóvel de pequeno porte e alugado. O percurso de Manaus à Itacoatiara durou 3 horas. Há possibilidades desse percurso ser feito de barco. O único inconveniente é que dura em torno de 14 h e geralmente, os barcos saem de Manaus no final da tarde.

Na volta de Itacoatiara para Manaus, houve a coleta de 01 amostra na cidade de Rio Preto da Eva (Figura 73). Estando há 75 km de Manaus pela rodovia AM-10.



Figura 73. Área urbana de cidade de Rio Preto da Eva - AM -2000.

A segunda saída para coleta de mostras, foi para a cidade de Manacapuru que fica há 87 km de Manaus. Nessa cidade, houve a coleta de 07 amostras.

A partir de Manaus, a travessia do rio Negro é feita de balsa de grande porte que sai do bairro de São Raimundo com destino à vila de Cacau Pireira no município de Iranduba e dura 45 minutos (Figura 74). A balsa funciona de 6:00 h da manhã às 11:00 h da noite e é cobrado frete por veículo. Em seguida, pegou-se a rodovia AM-70 com automóvel de pequeno porte e alugado. Há possibilidades desse percurso ser feito de barco com inconveniência para o tempo de viagem que é de aproximadamente 8 horas e geralmente, os barcos saem de Manaus no final da tarde.



Figura 74. Balsa para travessia do rio Negro - Cacau Pireira - Iranduba - AM - 2003.

A coleta de amostras na cidade de Iranduba foi feita seguindo a mesma metodologia da coleta em Manacapuru, pois a mesma encontra-se entre Manacapuru e Manaus. Em Iranduba houve a coleta de 03 amostras (Figura 75), sendo 02 amostras na cidade e 01 na comunidade do Caldeirão que fica há 15 km do centro da cidade e pertence ao EMBRAPA. O acesso também pode ser feito de barco.



Figura 75. Coleta de amostra em poço tubular - Iranduba - AM - 2001.

Para Presidente Figueiredo, o acesso foi pela rodovia BR-174 com automóvel de pequeno porte e alugado. O percurso de Manaus à Presidente Figueiredo durou em torno de uma hora vinte (cerca de 107 km). Não há possibilidades desse percurso ser feito de barco.

Como não foi possível encontrar poço adequado para a coleta de amostras na cidade, houve a coleta de 02 amostras na vila de Albina que fica há 80 km à leste de Presidente Figueiredo, entrando à direita da rodovia BR-174 no km 102. A estrada é asfaltada e bem conservada.

Na cidade de Manaus, a coleta de amostras foi feita com automóvel de pequeno porte e alugado. A amostragem foi facilitada devido à grande quantidade de poços perfurados. Houve a coleta de 24 amostras, distribuídas dentro do perímetro urbano.

A próxima cidade com poços amostrados foi Parintins que fica há 420 km por via fluvial de Manaus. O acesso foi feito de barco de grande porte que saiu de Manaus às 17 horas

e chegou em Parintins por volta das 10 horas do dia seguinte. O acesso à área também pode ser por via aérea, rodovias não existem.

Os barcos de linha que servem aos municípios saem geralmente de Manaus no período da tarde. É importante salientar que se faz necessário adquirir rede para dormir (Figura 76), pois os barcos viajam freqüentemente à noite, apesar de alguns alugarem camarotes.



Figura 76. Redes em barcos geralmente utilizadas em viagens de longo percurso – Manaus – AM – 2002.

Em Parintins, a coleta das 04 amostras foi através de automóvel de pequeno porte e alugado (Figura 77). Ainda em Parintins, houve o aluguel de um deslizador ou voadeira (motor de 25HP) com intuito de fazer a coleta na vila Amazônia e cidade de Barreirinha. A vila Amazônia faz parte do município de Parintins e o único acesso é feito pelo rio Amazonas, com aproximadamente 30 minutos de viagem.



Figura 77. Poços amostrados na cidade de Parintins – AM – 2001.

Após a coleta em vila Amazônia (Figura 78), as amostras foram levadas à Parintins para serem devidamente acondicionadas e guardadas. Em seguida, houve a coleta na cidade de Barreirinha que fica a aproximadamente 1 hora e 30 minutos de Parintins – neste deslizador – pelo rio Amazonas. Houve a coleta de 02 amostras na vila Amazônia e 02 na cidade de Barreirinha.

Com o retorno a Parintins, as 08 amostras de 20 litros foram enviadas de barco de grande porte para Manaus. O frete que o barco cobra para o transporte das amostras para as cidades visitadas, é geralmente pago no destino.



Figura 78. Coleta de amostra em vila Amazônia - Parintins - AM - 2001.

As 08 amostras com menor volume foram transportadas em um barco de alta velocidade (1600 HP) levando em torno de 10 horas para Manaus. Este barco faz linha para Manaus duas vezes por semana e não faz frete de objeto com grande volume. Sai de Parintins geralmente às 7 horas.

Para a coleta de amostras em Maués, o acesso foi feito de barco de grande porte que saiu de Manaus 17 horas e chegou por volta das 9 horas do dia seguinte. O acesso à área também pode ser por via aérea, rodovias não existem.

A coleta das 04 amostras na cidade de Maués foi através de automóvel de pequeno porte e alugado.

Em Maués, houve o aluguel de um deslizador ou voadeira (motor de 25HP) para fazer a coleta de 01 amostra na vila Vera Cruz (Figura 79) e 01 amostra na vila Canarana (Figura 80) que fazem parte deste município. A vila Vera Cruz posiciona-se logo a frete da cidade de Maués, atravessando o rio Maués que leva uns 10 minutos em média. O acesso à vila Canarana foi feito pelo paraná do Urariá e levou 30 minutos de viagem. Existe um barco de linha de pequeno porte (Figura 81) que faz esse percurso em 2 horas, em dias alternados.

Com o retorno a Maués, as 06 amostras foram enviadas de barco de grande porte para Manaus.



Figura 79. Coleta de amostra na vila Vera Cruz - Maués - AM - 2002.



Figura 80. Coleta de amostra em poço tubular em vila Canarana - Maués - AM - 2002.



Figura 81. Barco de linha de Maués à vila Canarana. Paraná do Urariá de Cima - AM - 2002.

A cidade de Boa Vista do Ramos fica há 16 horas de Manaus. O acesso foi feito por barco que faz a linha Manaus-Parintins. Não existe a possibilidade desse acesso por rodovia.

A coleta de amostras foi feita a pé, pois nesta cidade não existem meios para alugar qualquer tipo de veículo. Sendo necessário a ajuda de terceiros para o transporte das amostras até o porto de Boa Vista do Ramos. As 02 amostras foram enviadas de barco de grande porte para Manaus.

O acesso à cidade de Urucará foi feito de barco de linha e durou 15 horas de viagem. Não existe a possibilidade do acesso por rodovia. Em Urucará, a coleta de amostras foi feita com automóvel de médio porte e alugado. Houve a coleta de 04 amostras. Depois da amostragem na cidade, fez-se as coletas de amostras na vila de Bonança, Amanari, Boa Esperança e Castanhal que fazem parte deste município. A estrada que liga as vilas não é asfaltada e de difícil acesso. A amostragem nas vilas durou cerca de 5 horas. Após as coletas, as 08 amostras foram enviadas de barco de grande porte para Manaus.

Para a amostragem em São Sebastião do Uatumã, o acesso foi feito de barco de grande porte e levou cerca de 14 horas para chegar ao destino.

Sem a possibilidade de aluguel de qualquer tipo de veículo, a coleta das 03 amostras foi feita a pé. Sendo necessária a ajuda de terceiros, para o transporte das amostras até o porto de São Sebastião do Uatumã e posterior envio de barco para Manaus.

Para a amostragem no município de Tefé, o acesso foi feito de avião de médio porte e levou cerca de 1 hora e 15 minutos. O acesso à área geralmente é feito de barco, mas nesta época do ano (outubro-dezembro) o rio Solimões está muito seco (Figura 82), com isso, dificultando a navegação dos barcos.



Figura 82. Foto aérea sobre o rio Solimões próximo à cidade de Tefé – AM- 2002.

Em Tefé, a coleta das 07 amostras foi através de automóvel de pequeno porte e alugado. Para a coleta nas cidades de Alvarães e Uarini, houve o aluguel de um deslizador ou voadeira (motor de 20HP).

Partindo de Tefé para a cidade de Alvarães, atravessasse o Lago de Maués por aproximadamente 15 minutos e chegasse à vila de Nogueira. A partir dessa vila, existe 15 km de estrada asfaltada até a cidade de Alvarães. Esse trajeto foi feito em veículo, pois no porto de Nogueira é comum o frete de veículos e motos.

Enquanto isso, o deslizador segue pelo rio por aproximadamente 1 hora até a cidade de Alvarães. Em Alvarães, houve a coleta de 02 amostras (Figura 83), utilizando veículo fretado.

Em seguida, retornou-se ao deslizador que esperava no porto de Alvarães e seguiu-se para Uarini. O acesso a Uarini é feito em aproximadamente 2 horas subindo o rio Solimões e entrando no lago de Uarini (Figura 84).



Figura 83. Coleta de amostra na cidade de Alvarães - AM – 2002.

A amostragem em Uarini foi feita a pé, pois não havia outro meio de locomoção. Após a coleta de 02 amostras, houve o retorno para Tefé, em aproximadamente 3 horas de viagem.

Na cidade de Tefé, as 11 amostras de 20 litros foram despachadas em barco de grande, os frascos com menor volume, foram acondicionados em caixa de isopor e levadas para Manaus por via aérea.



Figura 84. Acesso à cidade de Uarini pelo rio Solimões - AM - 2002.