

Avaliação dos Aquíferos das Bacias
Sedimentares da Província Hidrogeológica
Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e
Cidades Pilotos (escala 1:50.000)



Volume IX - Cidade Piloto: Tabatinga - AM

Tomo I - Texto

Dezembro/2015

República Federativa do Brasil

Dilma Vana Roussef

Presidenta

Ministério do Meio Ambiente

Izabella Mônica Vieira Teixeira

Ministra

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Vicente Andreu Guillo - Diretor-Presidente

Gisela Forattini

João Gilberto Lotufo Conejo

Ney Maranhão

Paulo Lopes Varella Neto

Superintendência de Implementação e Programas e Projetos

Ricardo Medeiros de Andrade

Tibério Magalhães Pinheiro

Coordenação de Águas Subterrâneas

Fernando Roberto de Oliveira

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (Gestor)

Leonardo de Almeida

Letícia Lemos de Moraes

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização

Aline Maria Meiguins de Lima (SEMAS/PA)

Audrey Nery Oliveira Ferreira (FEMARH/RR)

Cléa Maria de Almeida Dore (FEMARH/RR)

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (ANA)

Fernando Roberto de Oliveira (ANA)

Flávio Soares do Nascimento (ANA)

Glauco Lima Feitosa (IMAC/AC)

Jane Freitas de Góes Crespo (SEMGRH/AM)
José Trajano dos Santos (SEDAM/RO)
Luciani Aguiar Pinto (SEMGRH/AM)
Luciene Mota de Leão Chaves (SEMAS/PA)
Marco Vinicius Castro Gonçalves (ANA)
Maria Antônia Zabala de Almeida Nobre (SEMA/AC)
Miguel Martins de Souza (SEMGRH/AM)
Miguel Penha (SEDAM/RO)
Nilza Yuiko Nakahara (FEMARH/RR)
Olavo Bilac Quaresma de Oliveira Filho (SEMAS/PA)
Vera Lucia Reis (SEMA/AC)
Verônica Jussara Costa Santos (SEMAS/PA)

Consórcio PROJETEC/TECHNE (Coordenação Geral)

João Guimarães Recena
Luiz Alberto Teixeira
Antonio Carlos de Almeida Vidon
Fábio Chaffin

Gerência do Contrato

Marcelo Casiuch
Roberta Alcoforado

Membros da Equipe Técnica Executora

João Manoel Filho (Coordenador)
Alerson Falieri Suarez
Ana Nery Cadete
Antonio Carlos Tancredi
Carla Maria Salgado Vidal
Carlos Danilo Câmara de Oliveira
Cristiana Coutinho Duarte
Edilton Carneiro Feitosa
Fabianny Joanny Bezerra C. da Silva
Maria de Fátima França de Moura
Fernando Correia
Joanderson James Oliveira Moraes

Ludmilla Calado
Marcondes Assis
Maria Marlúcia Freitas Santiago
Mário Vicente Caputo
Nelson da Franca Ribeiro dos Anjos
Patrícia Celeste Lopes Jesuíno
Paulo de Melo da Cunha Pedrosa
Rilson Magalhão Cabral
Roseli da Rocha Paixão de Almeida
Rudson Fonseca
Thiago Franklin de Almeida
Wagner Vitor Araújo Ferreira
Waldir Duarte Costa
Walter Lucena
Wilton José Silva da Rocha

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA

Avaliação dos Aquíferos das Bacias
Sedimentares da Província Hidrogeológica
Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e
Cidades Pilotos (escala 1:50.000)

Volume IX - Cidade Piloto: Tabatinga - AM

Tomo I - Texto

Dezembro/2015

Agência Nacional de Águas - ANA
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco B, L e M
CEP: 70610-200, Brasília - DF
PABX: 2109-5400 / 2109-5252
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Equipe:
Agência Nacional de Águas - ANA
Superintendência de Implementação de Programas e Projetos - SIP

Elaboração e execução:
Consórcio TECHNE- PROJETEC

Todos os direitos reservados
É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000).

Volume IX – Cidade Piloto: Tabatinga - AM.

Tomo I - Texto

Brasília: ANA, SIP, 2015.

1. Recursos Hídricos
2. Província Hidrogeológica Amazonas
 - I. Agência Nacional de Águas
 - II. Consórcio TECHNE-PROJETEC

APRESENTAÇÃO

O relatório final de Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas (PHA) no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000) é constituído dos seguintes volumes:

- Volume I – Balanço Hídrico da Província Hidrogeológica Amazonas
- Volume II – Geologia da Província Hidrogeológica Amazonas
- Volume III – Hidrogeologia e Modelo Numérico de Fluxo da Província Hidrogeológica Amazonas
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume IV – Hidrogeoquímica da Província Hidrogeológica Amazonas
 - ✓ Tomo I - Aquíferos: Aluvial, Rio Branco, Içá e Tucunaré
 - ✓ Tomo II - Aquífero Alter do Chão, Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, Barreiras, Pirabas, Monte Alegre, Itaituba e Inominado (Cruzeiro do Sul)
- Volume V – Cidade Piloto: Macapá – AP
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VI – Cidade Piloto: Porto Velho – RO
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VII – Cidade Piloto: Rio Branco – AC
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VIII – Cidade Piloto: Santarém – PA
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume IX – Cidade Piloto: Tabatinga – AM
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume X – Proposta de Projeto para Proteção Ambiental e Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas na Região Amazônica a ser Desenvolvido pelo Brasil e Países Vizinhos
- Volume XI – Banco de Dados
- Volume XII – Resumo Executivo

SUMÁRIO

1 – Introdução	25
1.1 - Objetivo do Estudo	26
1.2 - Metodologia	26
1.3 – Localização e Dimensões da Área de Estudo	26
2 - Fisiografia	29
2.1 – Elementos e Fatores do Clima	30
2.1.1 - Clima.....	30
2.1.2 - Temperatura	32
2.1.3 - Ventos.....	32
2.1.4 - Umidade Relativa.....	32
2.1.5 - Insolação.....	35
2.1.6 - Precipitação	35
2.1.7 - Número de dias de chuva	35
2.1.8 - Evapotranspiração	35
2.2 - Relevo	37
2.3 - Hidrografia	39
2.4 - Solos	41
2.5 - Vegetação	44
2.6 – Influência do Intemperismo Químico Regional na Qualidade das Águas Subterrâneas da Província Hidrogeológica Amazonas - PHA...	47
3 - Geologia	49
3.1 - Generalidades	50
3.2 – Estrutura e Tectônica	50
3.3 – Litoestratigrafia Regional de Tabatinga	51
3.3.1 - Formação Benjamin Constant.....	51
3.3.2 – Pacote Paleozoico Indiferenciado	51
3.3.3 – Formação Javari	51
3.3.4 – Pacote Repouso - Solimões.....	52
3.3.5 – Formação Içá	52
3.4 – Litoestratigrafia Local	52
3.4.1 – Pacote Repouso-Solimões.....	52
3.4.2 – Aluviões Holocênicos e Terraços Fluviais Pleistocênicos Indiferenciados.....	53
4 – Hidrogeologia e Hidrodinâmica	61

4.1 - Generalidades	62
4.2 – Aquífero Aluvial	64
4.2.1 – Litologia, Dimensões e Limites.....	64
4.2.2 – Propriedades Hidráulicas	68
4.2.2.1 – Execução de Testes de Bombeamento	68
4.2.2.2 – Interpretação dos Testes de Bombeamento	71
4.2.2.3 - Parâmetros Hidráulicos Obtidos	78
4.2.2.4 – Conclusões sobre os Resultados Obtidos	79
4.2.3 – Recarga e Descarga de Água Subterrânea	80
4.2.3.1 – Variações de Nível Estático	80
4.2.3.2 – Variações de Cotas Potenciométricas	84
4.2.4 – Escoamento e Exutórios	84
4.2.5 – Reservas	88
4.2.5.1 – Reserva Reguladora ou Recarga Potencial Direta	88
4.2.5.2 – Reserva Potencial Explotável Estimada	88
4.2.5.3 – Reserva Permanente	88
4.2.6 – Situação da Explotação em 2012.....	89
4.2.6.1 – Levantamento e Sistematização de Dados.....	89
4.2.6.2 - Poços Catalogados e Cadastrados	89
4.2.6.3 – Tratamento Estatístico dos Dados Catalogados e Cadastrados	91
4.2.7 – Regime de Funcionamento dos Poços	97
4.2.8 – Produção Global dos Poços.....	98
5 – Hidrogeoquímica	101
5.1 – Introdução	102
5.1.1 - Critérios de seleção para as amostragens.....	102
5.1.2 - Procedimentos de Coleta.....	107
5.1.3 - Métodos de Análise	108
5.1.4 - Balanço Iônico	109
5.1.5 - Índice de Troca de Bases (ITB)	112
5.1.6 - Razões Iônicas	114
5.1.7 - Índice de Langelier.....	116
5.1.8 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas.....	118
5.1.9 - Modelagem Geoestatística	127
5.1.10 – Modelagem Estatística de Parâmetros Físico-Químicos com Valores Abaixo do Limite de Detecção	129

5.2 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do aquífero Aluvial.....	131
5.2.1 - Cor	131
5.2.2 – Turbidez	133
5.2.3 – Condutividade Elétrica (CE).....	138
5.2.4 – Temperatura.....	142
5.2.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	146
5.2.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH).....	151
5.2.7 – Potencial Redox (Eh)	155
5.2.8 – Cátions	161
5.2.8.1 – Sódio.....	161
5.2.8.2 – Potássio	166
5.2.8.3 – Cálcio.....	170
5.2.8.4 – Magnésio	174
5.2.9 – Ânions	178
5.2.9.1 – Cloreto	178
5.2.9.2 – Sulfato.....	183
5.2.9.3 – Bicarbonato.....	187
5.2.10 – Dureza.....	191
5.2.11 – Compostos Nitrogenados.....	196
5.2.11.1 – Nitrato	197
5.2.11.2 – Nitrito	202
5.2.11.3 – Amônia.....	206
5.2.12 – Ferro e Manganês.....	210
5.2.12.1 – Ferro	211
5.2.12.2 – Manganês	219
5.2.13 – Metais Pesados.....	223
5.2.14 – BTEX e Fenóis	227
5.2.14.1 – BTEX	227
5.2.14.2 – Fenóis	228
5.2.15 – Isótopos Ambientais	228
5.2.15.1 – Oxigênio-18 e Deutério	228
5.2.15.2 – Trício.....	231
5.2.15.3 - Carbono-14.....	232
5.2.15.4 – Conclusão.....	233

5.2.16 – Parâmetros Biológicos	234
5.2.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do aquífero Aluvial Segundo a Composição Química	242
5.2.17.1 – Diagrama Triangular de Piper	242
5.2.17.2 – Diagramas de Stiff	248
5.2.18 – Classificação das Águas Subterrâneas Segundo o Uso	254
5.2.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para Consumo Humano	254
5.2.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação	258
5.2.18.3 – Pecuária	258
5.3 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga	259
5.4 – Vulnerabilidade Natural do aquífero Aluvial	260
5.4.1 – Método DRASTIC	261
5.4.2 – Método GOD	270
6 – Referências Bibliográficas	277
7 – ANEXOS	286
7.1 – Testes de Bombeamento – Planilhas, Gráficos e Valores Obtidos de T, K, S	287
7.1.1 – Dados do Poço TBT16 – Tabatinga – AM	288
7.1.1.1 – Planilha	288
7.1.1.2 – Gráficos e Parâmetros Obtidos no Poço TBT16 pelo método de Cooper & Jacob (1946).	289
7.1.1.2a – Rebaixamento no poço TBT16 com o bombeamento	289
7.1.1.2b – Recuperação no poço TBT16 com o bombeamento.	289
7.1.1.2c - Valores encontrados no poço TBT16PORTOBRAS para T, K, S pelo método de Cooper & Jacob (1946)	290
7.1.1.3a – Curva de rebaixamento do poço TBT16superposta à curva padrão Tipo A de Neuman (antes da drenagem retardada) com $\frac{\beta=Q1}{}$	290
7.1.1.3b – Curva de rebaixamento do poço TBT16 superposta à curva padrão Tipo B de Neuman (antes da drenagem retardada) com $\frac{\beta=Q1}{}$	291
7.1.1.3c - Resultados encontrados no poço TBT16PORTOBRAS supondo o aquífero do tipo livre, anisotrópico com poços totalmente penetrantes e com drenagem retardada.	292
7.1.2 – Dados do Poço TBT17 – Tabatinga – AM	293
7.1.2.1 – Planilha	293

7.1.2.2 – Gráficos e Parâmetros Obtidos no Poço TBT17 pelo método de Cooper & Jacob (1946).	294
7.1.2.2a – Rebaixamento no poço TBT17 com o bombeamento.....	294
7.1.2.2c - Valores encontrados no poço TBT17 para T, K, S	295
7.1.2.3a – Curva de rebaixamento do poço TBT17 superposta à curva padrão Tipo A de Neuman (antes da drenagem retardada) com $\beta=0,1$	295
7.1.2.3c - Resultados encontrados no poço TBT17 supondo o aquífero do tipo livre, anisotrópico com poços totalmente penetrantes e com drenagem retardada.....	297
7.2 – Dados dos Poços Cadastrados pela ANA-PHA e Catalogados do SIAGAS/CPRM 2010 em Tabatinga.....	298
7.2.2 – Resumo das Características Técnicas de 64 Poços Catalogados de CPRM/SIAGAS 2010 em Tabatinga, dos quais 6 com Perfis Litológicos, 11 com Perfis Construtivos e 17 com Produtividade.....	307
7.3 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012	312
7.3.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas em Tabatinga durante a primeira campanha de amostragem de água de 15 poços no período chuvoso em abril de 2012.	313
7.3.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas em Tabatinga durante a segunda campanha de amostragem de água de 15 poços no período de estiagem em outubro de 2012.	314
7.3.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas em Tabatinga durante a segunda campanha de amostragem de água de 15 poços no período de estiagem em outubro de 2012.....	315
7.4 – Protocolo de Guia de Coleta de Amostras Bioagri Ambiental	316

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Variáveis meteorológicas da Estação 82410 – Benjamin Constant, segundo as Normais Climatológicas 1961-1990 (INMET, 2009)*.	31
Tabela 2.2 – Estação 82410 – Benjamin Constant (mais próxima de Tabatinga): Médias mensais das variáveis meteorológicas no período de 1981-2010. Fonte: Dados da base do INMET*.	31
Tabela 2.3 – Variação da insolação mensal na Estação 82410 Benjamin Constant no período de 1981 a 2010.....	36
Tabela 3.1 – Litologia de 6 (seis) poços tubulares com perfis litológicos e construtivos no Aquífero Aluvial de Tabatinga – AM e dados de um poço (S4179) apenas com perfil construtivo.	57
Tabela 4.1 – Intervalos de ocorrência e espessuras das UHFs do <i>Aquitardo Solimões</i> no poço do Rio Javari (2-RJ-1-AM).	63
Tabela 4.2 – Dimensões do Aquífero Aluvial e extensão dos filtros segundo dados de 5 (cinco) poços com perfil litológico e construtivo catalogados do SIAGAS/CPRM.	64
Tabela 4.3 – Faixa de valores de condutividade hidráulica em depósitos inconsolidados de natureza análoga à do aquífero Aluvial em m/s e m/dia (Adaptado de Fetter, 1994).	68
Tabela 4.4 – Características dos poços utilizados nos testes de bombeamento realizados no aquífero Aluvial da cidade de Tabatinga – AM.....	69
Tabela 4.5 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método semilogarítmico de Jacob para o aquífero “confinado” aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.....	78
Tabela 4.6 – Síntese dos parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.	79
Tabela 4.7 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.	79
Tabela 4.8 – Variação de níveis estáticos e de cotas potenciométricas nos poços de Tabatinga no aquífero Aluvial, no período chuvoso (abril de 2012) e no período de estiagem (outubro de 2012).....	81
Tabela 4.9 – Frente W de escoamento natural do aquífero Aluvial de Tabatinga, em direção ao rio Solimões, no período chuvoso (abril de 2012).	84
Tabela 4.10 – Frente W de escoamento natural do aquífero Aluvial de Tabatinga, em direção ao rio Solimões, no período de estiagem (outubro de 2012).....	85
Tabela 4.11 – Reservas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.	89
Tabela 4.12 - Parâmetros estatísticos dos dados de poços de Tabatinga.	91
Tabela 4.13 – Frequência da profundidade dos poços tubulares levantados no SIAGAS/CPRM e dos novos cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga - AM. ...	91
Tabela 4.14 – Frequência dos diâmetros de revestimento dos poços tubulares levantados no SIAGAS/CPRM e dos novos cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga - AM.	92
Tabela 4.15 – Distribuição de frequência da profundidade dos níveis estáticos dos poços levantados no SIAGAS/CPRM e cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga - AM.	93
Tabela 4.16 – Distribuição de frequência dos níveis dinâmicos dos poços na cidade de Tabatinga - AM.	94

Tabela 4.17 – Frequência da vazão dos poços cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga – AM.	95
Tabela 4.18 – Vazões de teste “estabilizadas” e respectivas capacidades específicas de poços catalogados da CPRM/SIAGAS.	96
Tabela 4.19 – Cálculo do regime médio de funcionamento usando 43 dos 108 poços em operação, com vazão e regime informados na cidade de Tabatinga, no aquífero Aluvial.	97
Tabela 4.20 - Produção global estimada para Tabatinga em 2012, explotada do aquífero Aluvial.	98
Tabela 4.21 - Distribuição dos poços e da produção global com a situação operacional informada.	99
Tabela 4.22 – Tipos de reservatório de água de poços em Tabatinga - AM.	99
Tabela 5.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – abril de 2012.	110
Tabela 5.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – outubro de 2012.	111
Tabela 5.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga nas duas campanhas.	112
Tabela 5.4 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga nas duas campanhas.	114
Tabela 5.5 – Principais razões iônicas e seus significados segundo Hem (1985).	115
Tabela 5.6 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga nas duas campanhas.	116
Tabela 5.7 – Faixas do IS segundo Snoeyink & Jenkins (1980).	117
Tabela 5.8 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Aluvia, na cidade de Tabatinga nas duas campanhas.	117
Tabela 5.9 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – abril de 2012.	118
Tabela 5.10 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – outubro de 2012.	123
Tabela 5.11 – Parâmetros analisados, limites de detecção (LD) e valores numéricos adotados para estatística descritiva dos resultados das coletas no aquífero Aluvial nas duas campanhas.	129
Tabela 5.12 – Estatística descritiva com 100% de valores abaixo do limite de detecção da cor, substituídos por um valor numérico.	131
Tabela 5.13 – Distribuição de probabilidade da cor para 100% de valores abaixo do limite de detecção, substituídos por um valor numérico.	131
Tabela 5.14 – Estatística descritiva da Cor do aquífero Aluvial no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.	132
Tabela 5.15 – Distribuição de probabilidade da Cor da água do aquífero Aluvial no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.	133
Tabela 5.16 – Estatística descritiva da Turbidez do aquífero Aluvial no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.	133

Tabela 5.17 – Distribuição de probabilidade da Turbidez do aquífero Aluvial no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.....	134
Tabela 5.18 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do aquífero Aluvial no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.	138
Tabela 5.19 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do aquífero Aluvial no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.....	139
Tabela 5.20 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do aquífero Aluvial no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012....	142
Tabela 5.21 – Distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do aquífero Aluvial no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.	143
Tabela 5.22 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM na primeira e na segunda campanha de amostragem.	146
Tabela 5.23 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do aquífero Aluvial no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.....	147
Tabela 5.24 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do aquífero Aluvial no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.....	148
Tabela 5.25 – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> do aquífero Aluvial no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	151
Tabela 5.26 – Distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> do aquífero Aluvial no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	152
Tabela 5.27 – Estatística descritiva do Eh do aquífero Aluvial no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012.....	156
Tabela 5.28 – Distribuição de probabilidade da Eh do aquífero Aluvial no período chuvoso (Eh -1) - abril de 2012 e no período seco (Eh -2) – outubro de 2012.	157
Tabela 5.29 – Estatística descritiva do Sódio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.	161
Tabela 5.30 – Distribuição de probabilidade do Sódio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.	162
Tabela 5.31 – Estatística descritiva do Potássio do aquífero Aluvial no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.	166
Tabela 5.32 – Distribuição de probabilidade do Potássio do aquífero Aluvial no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.	167
Tabela 5.33 – Estatística descritiva do Cálcio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.	170
Tabela 5.34 – Distribuição de probabilidade do Cálcio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.	171
Tabela 5.35 – Estatística descritiva do Magnésio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.	174

Tabela 5.36 – Distribuição de probabilidade do Magnésio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.	175
Tabela 5.37 – Estatística descritiva do Cloreto do aquífero Aluvial no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.	178
Tabela 5.38 – Distribuição de probabilidade do Cloreto do aquífero Aluvial no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.	179
Tabela 5.39 – Estatística descritiva do Sulfato do aquífero Aluvial no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.	183
Tabela 5.40 – Distribuição de probabilidade do Sulfato do aquífero Aluvial no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.	184
Tabela 5.41 – Estatística descritiva do Bicarbonato do aquífero Aluvial no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.	187
Tabela 5.42 – Distribuição de probabilidade do Bicarbonato do aquífero Aluvial no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012. ...	188
Tabela 5.43 – Classificação das águas segundo a sua faixa de valor de dureza (Von Sperling, 2005).	191
Tabela 5.44 – Estatística descritiva da Dureza do aquífero Aluvial no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.	191
Tabela 5.45 – Distribuição de probabilidade da Dureza do aquífero Aluvial no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.	192
Tabela 5.46 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de nitrato e nitrito para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	197
Tabela 5.47 – Estatística descritiva do Nitrato do aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	198
Tabela 5.48 – Distribuição de probabilidade do Nitrato do aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	199
Tabela 5.49 – Estatística descritiva do Nitrito do aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.	202
Tabela 5.50 – Distribuição de probabilidade do Nitrito do aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	203
Tabela 5.51 – Estatística descritiva da Amônia do aquífero Aluvial no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.	206
Tabela 5.52 – Distribuição de probabilidade da Amônia do aquífero Aluvial no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.	207
Tabela 5.53 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de ferro e manganês segundo os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	210
Tabela 5.54 – Estatística descritiva do Ferro do aquífero Aluvial no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.	211
Tabela 5.55 – Distribuição de probabilidade do Ferro do aquífero Aluvial no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.	212
Tabela 5.56 – Estatística descritiva do Manganês do aquífero Aluvial no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.	219
Tabela 5.57 – Distribuição de probabilidade do Manganês do aquífero Aluvial no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.	220

Tabela 5.58 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmiio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco, segundo a Portaria MS 2914/2011.	223
Tabela 5.59 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmiio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).....	223
Tabela 5.60 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) segundo a Portaria MS 2914/2011.	227
Tabela 5.61 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	227
Tabela 5.62 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Fenóis para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	228
Tabela 5.63 – Valores de deutério e oxigênio-18 dosados nas amostras coletadas em Tabatinga, na segunda campanha de amostragem (outubro de 2012).....	230
Tabela 5.64 – Relação entre unidades de trício (U.T.) e idade das águas subterrâneas.	231
Tabela 5.65 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (<i>percent modern carbon</i>).....	233
Tabela 5.66 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de microorganismos para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	238
Tabela 5.67 - Classificação das Águas do aquífero Aluvial em Tabatinga - Período Chuvoso (abril de 2012).	243
Tabela 5.68 - Classificação das Águas do aquífero Aluvial em Tabatinga - Período seco (outubro de 2012).....	246
Tabela 5.69 - Classificação das Águas do aquífero Aluvial em Tabatinga de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).	248
Tabela 5.70 - Classificação das Águas do aquífero Aluvial em Tabatinga, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).....	251
Tabela 5.71 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e o risco de sódio, segundo USSL.....	258
Tabela 5.72 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963). ...	258
Tabela 5.73 – Ponderação dos parâmetros do método DRASTIC (Aller <i>et al.</i> 1987).261	
Tabela 5.74 – Parâmetros classificados por faixa de variação numérica (D, R, T, C).	262
Tabela 5.75 – Parâmetros classificados por tipo de solo ou tipo de rocha (A, S, I)...	263
Tabela 5.76 – Parâmetros para avaliação do Índice de Vulnerabilidade DRASTIC do aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM.....	267
Tabela 5.77 – Valores para o parâmetro G do índice GOD (Foster, 1987).	271
Tabela 5.78 – Valores para o parâmetro O do índice GOD (Foster, 1987).	271
Tabela 5.79 – Valores para o parâmetro D do índice GOD (Foster, 1987).....	271
Tabela 5.80 – Índices GOD e classes de vulnerabilidade.....	272
Tabela 5.81 - Parâmetros para avaliação do Índice de Vulnerabilidade GOD do aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.	273

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização da área de estudo no município de Tabatinga – AM.	28
Figura 2.1 – Variáveis meteorológicas condicionantes do clima na estação mais próxima de Tabatinga: Estação 82410 – Benjamin Constant, segundo as Normais Climatológicas 1961-1990 (INMET, 2009).....	33
Figuras 2.2 – Variáveis meteorológicas condicionantes do clima na Estação Meteorológica 82410 – Benjamin Constant – AM, no período de 1981-2010. Fonte: Dados da base do INMET.	34
Figura 2.3 – Ilustração da tendência de aumento decenal da insolação mensal na Estação 82410 Benjamin Constant.	36
Figura 2.4 – Mapa do relevo da região Tabatinga - AM.	38
Figura 2.5 – Rede hidrográfica da região de Tabatinga-AM.	40
Figura 2.6 – Classes de solos existentes na região de Tabatinga-AM.	43
Figura 2.7 – Classes de Vegetação da região de Tabatinga-AM.	46
Figura 3.1 – Extrato do mapa geológico ao milionésimo da região de Tabatinga, com localização dos poços estratigráficos mais próximos de Tabatinga – AM, perfurados pela Petrobrás.	54
Figura 3.2 – Seção geológica transversal entre os poços estratigráficos Rio Javari, Rio Curuçá e Benjamin Constant perfurados pela Petrobras na região sudoeste de Tabatinga – AM, evidenciando a ocorrência da Formação Solimões como um aquífero confinado e da Formação Javari como um importante aquífero confinado, em repouso sobre o embasamento cristalino.....	55
Figura 3.3 - Mapa geológico da folha de 15 minutos da região de Tabatinga – AM. ..	56
Figura 4.1 – Diagrama de cerca do pacote aluvionar mostrando a camada de areia aquífera na cidade de Tabatinga – AM.....	66
Figura 4.2 - Bloco 3D do modelo litoestratigráfico do pacote aluvionar mostrando a camada de areia aquífera na cidade de Tabatinga – AM.....	67
Figura 4.3 – Localização de poços produtores com perfil e de poços usados nos testes de bombeamento realizados no aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM.	70
Figura 4.4 – Curva de rebaixamento x tempo no teste do poço TBT16 realizado no aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM, mostrando o desvio da reta logarítmica para cima, indicativo do final da drenagem gravitacional retardada.....	71
Figura 4.5 – Ilustração gráfica da aproximação logarítmica da função $W(u)$ (Cooper & Jacob, 1946).	72
Figura 4.6a – Família de curvas padrão Tipo A de Neuman (1975) para tempos curtos, mostrando, com o exemplo do teste do poço TBT16 ajustado na curva $\beta = 0,1$, que o rebaixamento não estabiliza, mas se desvia para tempos longos (quando cessa o efeito da drenagem gravitacional) e tende para a curva de Theis.....	77
Figura 4.6b – Família de curvas padrão Tipo B de Neuman (1975) para tempos curtos, mostrando, (com o exemplo do teste do poço TBT16 ajustado na curva $\beta = 0,1$), que o rebaixamento não estabiliza, mas se desvia para tempos longos (quando cessa o efeito da drenagem gravitacional) e tende para a curva de Theis.....	77

Figura 4.7a – Profundidade do nível estático das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012 na cidade de Tabatinga - AM.	82
Figura 4.7b – Profundidade do nível estático das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012 na cidade de Tabatinga - AM.	83
Figura 4.8a – Mapa hidrogeológico com a potenciometria das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012 na cidade de Tabatinga - AM.	86
Figura 4.8b – Mapa hidrogeológico com a potenciometria das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012 na cidade de Tabatinga - AM.	87
Figura 4.9 – Distribuição espacial dos poços catalogados e cadastrados na folha de 15 minutos e na área de estudo na cidade de Tabatinga – AM. Fonte: SIAGAS/CPRM e ANA.	90
Figura 4.10 – Frequências das classes de profundidade dos poços na cidade de Tabatinga - AM.	92
Figura 4.11 – Frequências das classes de diâmetro de revestimento dos poços na cidade de Tabatinga - AM.	93
Figura 4.12 – Frequências das classes de profundidade do nível estático dos poços na cidade de Tabatinga - AM.	94
Figura 4.13 – Frequências das classes dos níveis dinâmicos dos poços na cidade de Tabatinga - AM.	95
Figura 4.14 – Frequências das classes de vazão dos poços cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga - AM.	96
Figura 4.15 – Distribuição espacial da vazão dos poços cadastrados e catalogados na região de Tabatinga – AM.	100
Figura 5.1 – Localização dos pontos de amostragem das análises físico-químicas e bacteriológicas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - AM.	104
Figura 5.2 – Localização dos pontos de amostragem das análises de metais pesados e BTEX fenóis no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - AM.	105
Figura 5.3 – Localização dos pontos de amostragem das análises de isótopos ambientais no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - AM.	106
Figura 5.4 – Equações utilizadas no <i>software</i> Qualigraf para estimativa do erro prático no balanço iônico, segundo as metodologias de Custódio & Llamas (1983) e Logan (1965).	109
Figura 5.5 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.	113
Figura 5.6 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.	113
Figura 5.7 – Histograma de frequência no período chuvoso (abril de 2012) e curva lognormal de distribuição de probabilidade da Cor das águas do aquífero Aluvial. Gráfico do período seco (outubro de 2012), com todos os valores da amostra constantes (4,9 uH)	132
Figura 5.8 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	134

Figura 5.9a – Zoneamento de Turbidez das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	136
Figura 5.9b – Zoneamento de Turbidez das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	137
Figura 5.10 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica (CE) do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	139
Figura 5.11a – Zoneamento de Condutividade Elétrica das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga – AM.	140
Figura 5.11b – Zoneamento de Condutividade Elétrica das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	141
Figura 5.12 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	142
Figura 5.13a – Zoneamento de Temperatura (°C) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	144
Figura 5.13b – Zoneamento de Temperatura (°C) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	145
Figura 5.14 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).	147
Figura 5.15 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	148
Figura 5.16a – Zoneamento de STD (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	149
Figura 5.16b – Zoneamento de STD (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	150
Figura 5.17 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	152
Figura 5.18a – Zoneamento de pH <i>in situ</i> das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	153
Figura 5.18b – Zoneamento de pH <i>in situ</i> das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	154
Figura 5.19 – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM (temperatura <i>in situ</i> variou de 25,85 a 33,5°C) nas duas campanhas de amostragem.	156
Figura 5.20 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Eh do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	157
Figura 5.21a – Zoneamento de Eh (mV) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	159
Figura 5.21b – Zoneamento de Eh (mV) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM	160

Figura 5.22 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	161
Figura 5.23a – Zoneamento de Sódio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	164
Figura 5.23b – Zoneamento de Sódio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	165
Figura 5.24 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	166
Figura 5.25a – Zoneamento de Potássio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012), na cidade de Tabatinga – AM.	168
Figura 5.25b – Zoneamento de Potássio (mg/L) nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial no período de estiagem (outubro de 2012), na cidade de Tabatinga – AM....	169
Figura 5.26 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	171
Figura 5.27a – Zoneamento de Cálcio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	172
Figura 5.27b – Zoneamento de Cálcio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	173
Figura 5.28 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	174
Figura 5.29a – Zoneamento de Magnésio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	176
Figura 5.29b – Zoneamento de Magnésio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	177
Figura 5.30 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	179
Figura 5.31a – Zoneamento de Cloreto (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	181
Figura 5.31b – Zoneamento de Cloreto (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	182
Figura 5.32 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	184
Figura 5.33a – Zoneamento de Sulfato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	185
Figura 5.33b – Zoneamento de Sulfato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.....	186
Figura 5.34 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	188

Figura 5.35a – Zoneamento de Bicarbonato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga – AM.	189
Figura 5.35b – Zoneamento de Bicarbonato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga – AM.	190
Figura 5.36 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	192
Figura 5.37a – Zoneamento de Dureza (mg/L em CaCO ₃) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	194
Figura 5.37b – Zoneamento de Dureza (mg/L em CaCO ₃) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	195
Figura 5.38 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	198
Figura 5.39a – Zoneamento de Nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	200
Figura 5.39b – Zoneamento de Nitrato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	201
Figura 5.40 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	202
Figura 5.41a – Zoneamento de Nitrito (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	204
Figura 5.41b – Zoneamento de Nitrito (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	205
Figura 5.42 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	206
Figura 5.43a – Zoneamento da Amônia (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	208
Figura 5.43b – Zoneamento da Amônia (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	209
Figura 5.44 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	212
Figura 5.45 – Diagrama pH-Eh ilustrando a solubilidade do ferro em relação a pH, em 3 (três) zonas, para $C_{T,S} = 10^4 M$; $C_{T,CO_3} = 10^{-3} M$, segundo Hem (1960). Adaptado de Snoeyink & Jenkins (1980).	214
Figura 5.46a – Zoneamento de Ferro (mg/L) nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012), na cidade de Tabatinga – AM.	217
Figura 5.46b – Zoneamento de Ferro (mg/L) nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial no período de estiagem (outubro de 2012), na cidade de Tabatinga - AM.	218
Figura 5.47 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	220

Figura 5.48a – Zoneamento de Manganês (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	221
Figura 5.48b – Zoneamento de Manganês (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.	222
Figura 5.49 – Diagrama mostrando a relação de oxigênio-18 e deutério das precipitações e das águas subterrâneas do aquífero Aluvial de Tabatinga - AM.	230
Figura 5.50 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Aluvial, em Tabatinga, segundo os dados de trício de 6 (seis) amostras coletadas.	232
Figura 5.51 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.	233
Figura 5.52a – Distribuição dos poços com presença /ausência de coliformes totais no aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012) na cidade de Tabatinga - AM. ...	236
Figura 5.52b – Distribuição dos poços com presença /ausência de coliformes totais no aquífero Aluvial no período de estiagem (outubro de 2012) na cidade de Tabatinga - AM.	237
Figura 5.53a – Distribuição dos poços com presença /ausência de <i>E. coli</i> no aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012), na cidade de Tabatinga - AM.	240
Figura 5.53b – Distribuição dos poços com presença /ausência de <i>E. coli</i> no aquífero Aluvial no período de estiagem (outubro de 2012), na cidade de Tabatinga - AM.	241
Figura 5.54 – Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.	242
Figura 5.55 - Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga segundo a composição química - Período chuvoso (abril de 2012).	244
Figura 5.56 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.	245
Figura 5.57 - Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga segundo a composição química - Período seco (outubro de 2012).	247
Figura 5.58a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.	248
Figura 5.58b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.	250
Figura 5.58c – Água bicarbonatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.	251
Figura 5.59a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.	252
Figura 5.59b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.	253
Figura 5.60 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga no período chuvoso segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	254

Figura 5.61 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	255
Figura 5.62 – Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, para fins de irrigação – Abril de 2012.....	256
Figura 5.63 – Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga para fins de irrigação – Outubro de 2012.....	257
Figura 5.64a – Zoneamento da vulnerabilidade do aquífero Aluvial na zona urbana de Tabatinga, na coleta de abril de 2012 – Método DRASTIC.....	268
Figura 5.64b – Zoneamento da vulnerabilidade do aquífero Aluvial na zona urbana de Tabatinga, na coleta de outubro de 2012 – Método DRASTIC.	269
Figura 5.65 – Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação (Foster & Hirata, 1988).....	270
Figura 5.66a – Zoneamento da vulnerabilidade do aquífero Aluvial na zona urbana de Tabatinga na coleta de abril de 2012 - Método GOD.	274
Figura 5.66b – Zoneamento da vulnerabilidade do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga na coleta de outubro de 2012 - Método GOD.....	275

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 5.1 – Kit's de coletas usados em campo para as amostragens de água do aquífero Aluvial, nas duas campanhas, na cidade de Tabatinga - AM..... 107

1 – Introdução

1.1 - Objetivo do Estudo

Em atendimento aos **itens 6.4.3.7 e 6.4.3.8** dos Termos de Referência (TDRs), o objetivo do estudo é a caracterização dos aspectos fisiográficos, geológicos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos da cidade piloto de Tabatinga, visando, sobretudo, a avaliação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos subterrâneos como subsídio para a tomada de decisão no âmbito do aproveitamento e da preservação dos referidos recursos na região amazônica.

1.2 - Metodologia

O estudo realizado envolveu três etapas distintas, a saber:

- Levantamento e análise da bibliografia existente;
- Serviços de campo, com inventário de 15 (quinze) poços, nos quais foi realizado um monitoramento quali-quantitativo constando de coleta de água para análises e medições de níveis d'água. Esse levantamento foi levado a efeito em duas campanhas. Na primeira, em abril de 2012, correspondente ao período chuvoso, foram feitas medições de nível de água e coletas de amostras de água para análises físico-químicas e microbiológicas (**anexo 7.2.1**). Na segunda, em outubro de 2012, durante o período de estiagem, além das coletas de água para análises físico-químicas e microbiológicas, nos 15 (quinze) poços (**anexo 7.2.2**), foram feitas análises específicas (**anexo 7.2.3**) de metais pesados, BTEX e fenóis em 5 (cinco) poços; para análises isotópicas de trício, em 6 (seis) poços; para análises de oxigênio-18 e deutério, em 3 (três) poços e para análises de carbono 14 em 1 (um) poço. Ademais foram realizados ensaios de bombeamento em 2 (dois) poços existentes, TBT16 e TBT17 no aquífero Aluvial, sendo o primeiro com profundidade de 32 m e o segundo com profundidade de 24 m. As vazões de teste foram praticamente as mesmas (1,2 m³/h no TBT16 e 1,3 m³/h no TBT17), porém as vazões específicas foram distintas: 0,6 m³/h/m e 1,75 m³/h/m, respectivamente.
- Interpretação dos resultados das análises de água, bem como dos dados existentes e levantados no campo, com avaliação quantitativa e qualitativa das águas do aquífero Aluvial de Tabatinga.

1.3 – Localização e Dimensões da Área de Estudo

A cidade de Tabatinga, localizada na Microrregião do Alto Solimões, está situada à margem esquerda do Rio Solimões, na tríplice fronteira Brasil-Colômbia-Peru e tem o seu marco zero situa-se nas coordenadas 04°15'09" S e 69°56'17" W. Fica no extremo Oeste do estado do Amazonas e a sua distância de Manaus é de aproximadamente 1.600 km por via fluvial e 1.100 km por via aérea. O município de Tabatinga limita-se a Oeste com os países Peru e Colômbia; ao Sul, com o município de Benjamin Constant; a Leste com São Paulo de Olivença e ao Norte com Santo Antônio do Içá (SEPLAN, 2013).

Segundo o censo demográfico do IBGE (2010), o município de Tabatinga possui uma área de 3.224,88 km², o que equivale a 0,21% do território do estado do Amazonas. A população total do município é de 52.272 habitantes, distribuídos 36.355 (69,5%) na área urbana e 15.917 (30,5%) na área rural. O município possui uma densidade demográfica de 16,21 hab./km².

A área da folha de 15 minutos da região de Tabatinga cobre uma superfície de 139,16 km², dos quais apenas 9,36 km² correspondem à área de estudo (**figura 1.1**) propriamente dita, na qual foi realizado o monitoramento dos poços nas duas campanhas de medições de níveis e de coleta de água.

2 - Fisiografia

2.1 – Elementos e Fatores do Clima

Temperatura, ventos, umidade relativa e insolação, constituem, juntamente com as precipitações, os principais elementos e fatores condicionantes do clima de uma região. Por padrão da Organização Meteorológica Mundial (OMM) as caracterizações climáticas devem ser realizadas com base em “normais climatológicas” de 30 anos.

Para a cidade de Tabatinga, segundo as Normais Climatológicas 1961-1990 (INMET, 2009), os valores dessas variáveis meteorológicas principais são apresentados na **tabela 2.1**. Além disso, sobretudo para a inclusão de valores de evapotranspiração potencial e evapotranspiração real que não constam das normais de 1961-1990, são também apresentados (**tabela 2.2**) dados dos 30 anos mais recentes do período de 1981-2010 levantados da rede do INMET. A comparação dos resultados concernentes aos dois últimos períodos de 30 anos de dados revela diferenças importantes de comportamento entre algumas das variáveis meteorológicas estudadas (por exemplo, temperatura), como se verá adiante, sendo este fato atribuído, em parte, a falhas de registros verificadas nos 30 anos mais recentes e em parte à superposição de 10 anos entre os dois períodos estudados. Essas discrepâncias certamente serão minimizadas pelo INMET quando da publicação das Normais Climatológicas de 1991-2020.

2.1.1 - Clima

O clima predominante é o tropical super úmido, muito quente e com bastante umidade. Pela classificação de Köppen, predomina nesta região o Clima Tropical Chuvoso, onde a temperatura média do mês mais frio é sempre superior a 18°C (**tabela 2.1**). Incluído no grupo A e apresentando os tipos Am e Af, o clima desta região é caracterizado por uma curta estação seca. A região também é afetada pelo fenômeno da “friagem”, que é ocasionada por uma massa de ar polar que durante os meses de inverno, no hemisfério sul, desemboca de forma agressiva sobre a planície amazônica.

A estação meteorológica mais próxima de Tabatinga é a INMET 82410 – Benjamin Constant, cerca de 20 km a SSW.

Tabela 2.1 – Variáveis meteorológicas da Estação 82410 – Benjamin Constant, segundo as Normais Climatológicas 1961-1990 (INMET, 2009)*.

Mês	Natureza do Vento	Velocidade do Vento (m/s)	Insolação Média (horas)	Precipitação		Temperatura do Ar (°C)			Umidade Relativa (%)
				Número de dias	Média (mm)	Média	Min	Max	
JAN	Calmo	1,2	103,3	19	332,7	25,5	20,9	30,4	82,9
FEV	Calmo	1,2	98,0	15	276,6	25,5	20,9	30,4	82,2
MAR	Calmo	1,2	111,6	16	326,3	25,7	20,9	30,6	82,0
ABR	Calmo	1,1	110,0	16	294,8	25,7	21,2	30,5	83,0
MAI	Calmo	1,2	115,4	15	245,2	25,5	21,0	30,2	83,4
JUN	Calmo	1,2	129,8	11	134,6	25,2	20,6	30,1	-
JUL	Calmo	1,1	142,0	10	135,6	25,1	20,2	30,1	81,9
AGO	Calmo	1,1	156,8	10	128,6	25,4	20,6	31,0	81,0
SET	Calmo	1,1	139,6	11	166,6	25,7	20,9	31,2	80,5
OUT	Calmo	1,2	144,3	14	242,1	25,9	21,0	31,4	80,9
NOV	Calmo	1,2	116,7	14	244,8	25,7	21,0	30,8	81,6
DEZ	Calmo	1,2	104,7	17	293,6	25,5	21,0	30,5	82,2
ANO	Calmo	1,2	1.472,2	168	2.821,4	25,5	20,9	30,6	-

*Todos os valores nessa tabela, tanto mensais quanto anuais, são valores médios, ou seja, normais. Os totais anuais, ou médias anuais, de insolação, do número de dias de chuva e de precipitação são iguais à soma das médias mensais.

Tabela 2.2 – Estação 82410 – Benjamin Constant (mais próxima de Tabatinga): Médias mensais das variáveis meteorológicas no período de 1981-2010. Fonte: Dados da base do INMET*.

Mês	Direção do Vento (graus)	Velocidade do Vento (m/s)	Evapotranspiração BH		Insolação Total (horas)	Precipitação		Temperatura Máxima (°C)	Umidade Relativa (%)
			Potencial (mm)	Real (mm)		Número de dias	Total (mm)		
JAN	10,8	0,8	144,9	144,9	98,9	21	299,9	29,6	86,8
FEV	9,1	0,8	131,9	131,9	92,7	19	279,1	30,1	86,9
MAR	13,1	0,8	143,3	143,3	103,5	19	289,9	30,0	86,8
ABR	10,5	0,8	137,3	137,3	115,6	19	261,6	31,1	87,2
MAI	9,1	0,8	139,5	138,6	114,6	19	208,3	30,5	87,6
JUN	8,3	0,8	132,8	132,7	111,0	15	136,7	30,5	86,9
JUL	10,8	0,8	137,4	135,1	142,1	13	101,7	24,4	85,3
AGO	10,4	0,8	140,1	111,4	152,6	13	105,9	30,6	84,2
SET	8,9	0,8	137,9	133,1	149,2	12	136,0	31,4	83,4
OUT	8,1	0,8	145,0	142,3	137,5	17	196,4	21,7	84,2
NOV	12,1	0,8	141,3	141,3	123,0	18	240,8	29,2	85,4
DEZ	7,1	0,8	145,3	145,3	107,5	20	252,9	30,0	86,3
ANO	9,9	0,8	1676,7	1.637,2	1.448,2	205	2.509,1	29,1	85,9

*Todos os valores nessa tabela, tanto mensais quanto anuais, são valores médios, ou seja, normais. Os totais anuais, ou médias anuais, de insolação, número de dias de chuva e de precipitação são iguais à soma das médias mensais.

2.1.2 - Temperatura

Segundo as Normais Climatológicas de 1961-1990, as temperaturas médias mensais na estação de Benjamin Constant ficaram compreendidas entre 25,1°C e 25,9°C com uma média anual de 25,5°C (**tabela 2.1**). Já as temperaturas máximas normais de 1961-1990 variaram de 30,1 a 31,4°C, com média anual de 30,6°C. Nos 30 anos mais recentes (**tabela 2.2**) as máximas mensais variaram de 21,7°C a 31,4°C com média anual de 29,1°C. A comparação entre as temperaturas máximas médias anuais indica uma redução local de -1,5°C, ao contrário do que sugere a hipótese de *aquecimento global*, ainda questionada por boa parte da comunidade científica.

A variação das normais de 1961-1990 das temperaturas mínima, média e máxima em Benjamin Constant é ilustrada na **figura 2.1a**. Para o período de 1981-2010 dispõe-se apenas das temperaturas máximas (**figura 2.2a**), cuja variação mensal apresenta comportamento que difere do padrão das normais com valores de 30,5 e 24,4°C em junho-julho e valores de 31,4 e 21,7°C em setembro-outubro. Valores de temperaturas máximas médias de 24,4°C em julho e, principalmente, de 21,7°C em outubro na região de Benjamin Constant são improváveis e essa pode ter sido a razão para a inversão da tendência de aquecimento acima indicada, aliás, a única verificada em todos os postos estudados no âmbito do Projeto ANA-PHA.

2.1.3 - Ventos

Não há registro da direção normal predominante dos ventos em Benjamin Constant no período de 1961-1990 (**tabela 2.1**), indicando-se apenas vento calmo. A intensidade média varia de 1,1 m/s em junho, a 1,2 m/s em outubro, registrando uma média anual de 1,2 m/s. No período de 1981 a 2010 (**tabela 2.2**), o comportamento dos ventos se revelou ainda mais calmo do que nos 30 anos anteriores, com uma intensidade média constante de 0,8 m/s. A direção predominante é NNE, já que variou de 7,1° em dezembro a 13,1° em março, com média anual de 9,9° (**figuras 2.1b e 2.2b**).

2.1.4 - Umidade Relativa

As normais 1961-1990 de umidade relativa do ar em Benjamin Constant (**tabela 2.1**) variam de 80,5% no mês mais seco (setembro) a 83,4% no final do período chuvoso do ano (maio). Conforme **tabela 2.2**, nos 30 anos mais recentes (1981-2010) a umidade relativa variou de 83,4% em setembro a 87,6% em maio. Mantém-se, portanto, o mesmo padrão de distribuição mensal da umidade relativa do ar nos dois períodos de 30 anos considerados (**figuras 2.1c e 2.2c**), embora não tenha sido possível comparar as médias anuais por falta de registro da média do mês de junho no período de 1961-1990.

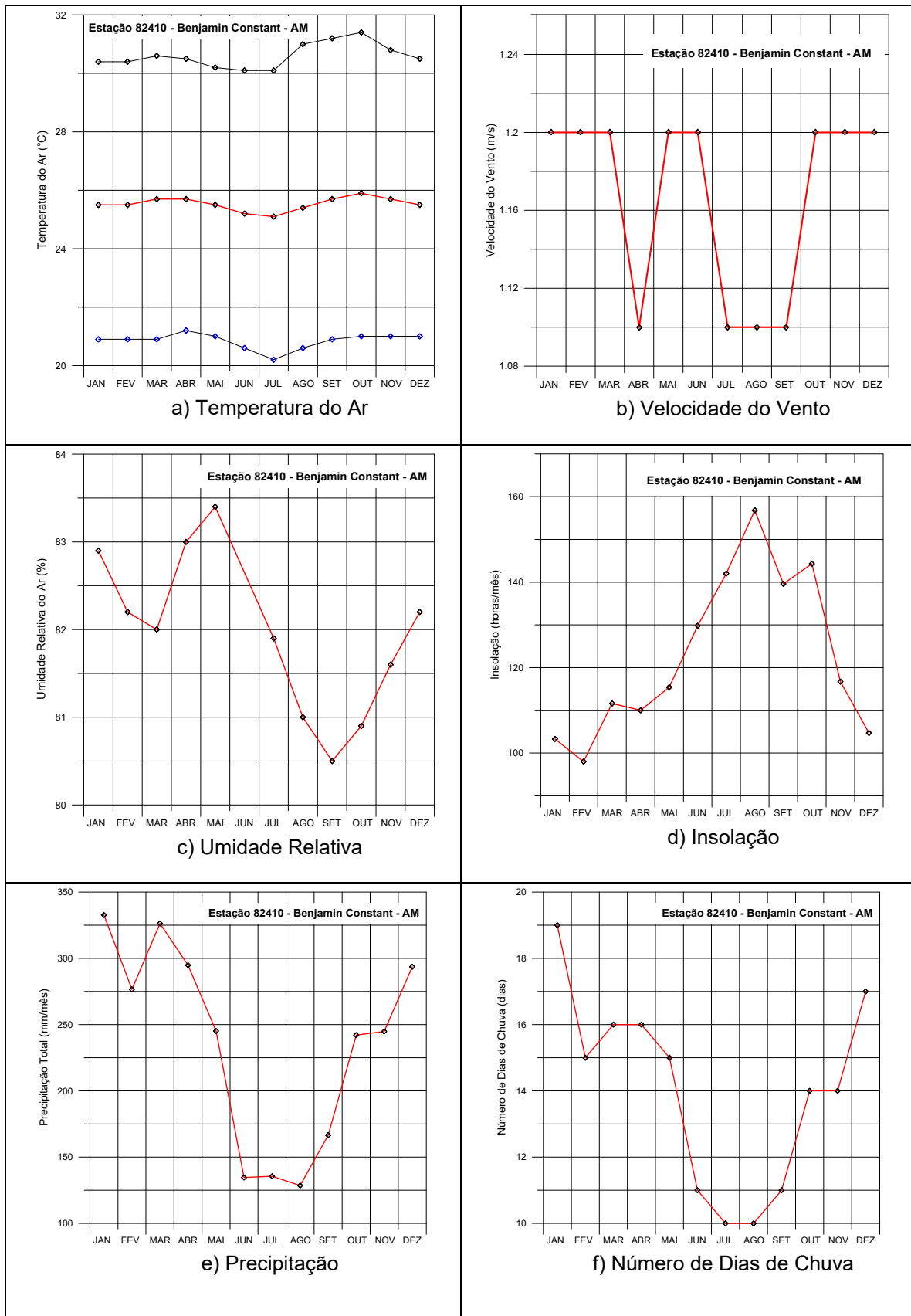
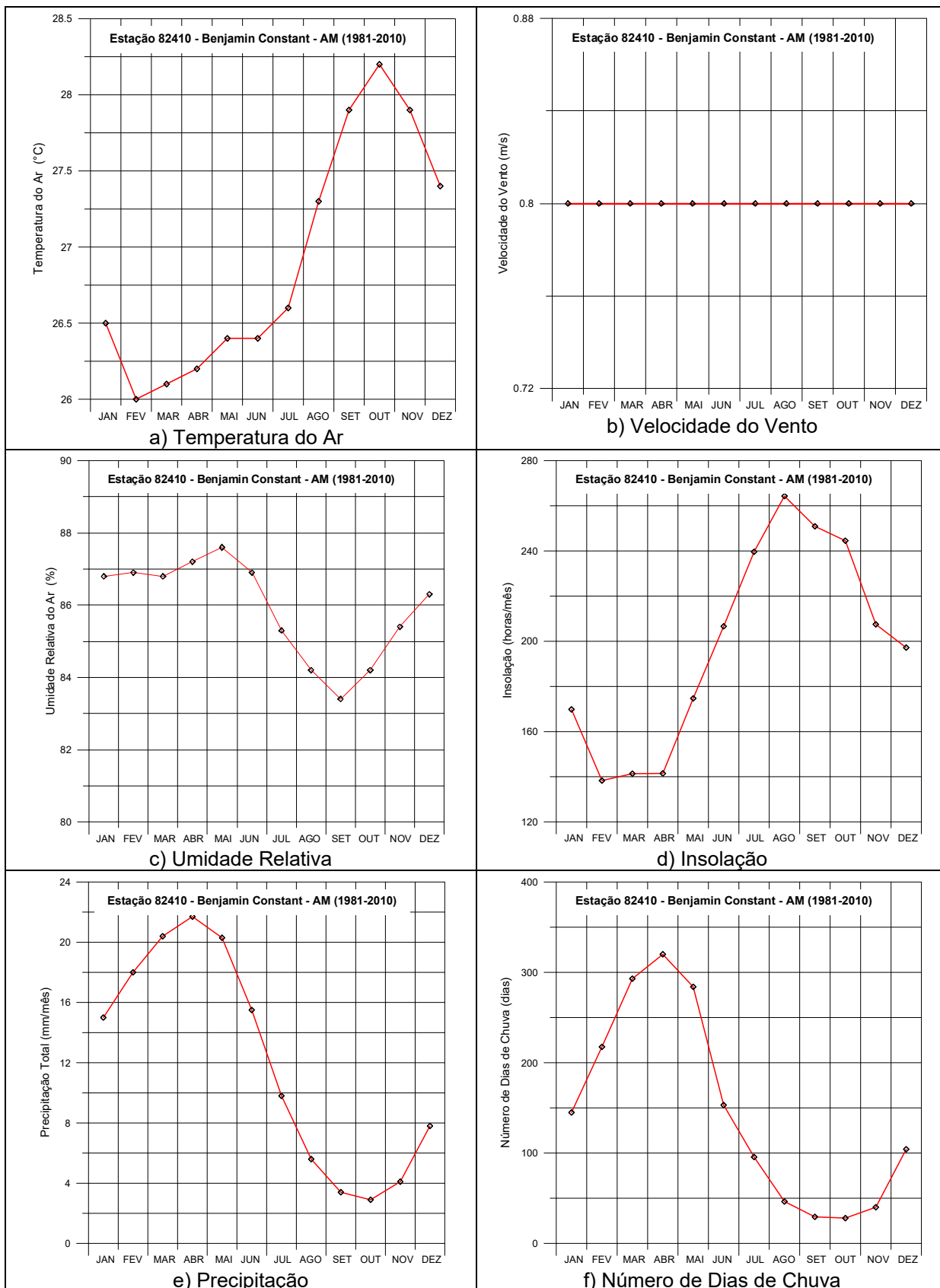


Figura 2.1 – Variáveis meteorológicas condicionantes do clima na estação mais próxima de Tabatinga: Estação 82410 – Benjamin Constant, segundo as Normais Climatológicas 1961-1990 (INMET, 2009).



Figuras 2.2 – Variáveis meteorológicas condicionantes do clima na Estação Meteorológica 82410 – Benjamin Constant – AM, no período de 1981-2010. Fonte: Dados da base do INMET.

2.1.5 - Insolação

A insolação média mensal, de acordo com as normais de 1961-1990 em Benjamin Constant, oscilou entre 98 horas (em fevereiro) e 156,8 horas (em agosto), com média anual de 1.472,2 horas (**tabela 2.1**). Nos 30 anos mais recentes (1981-2010) essa variação oscilou de 92,7 horas (em fevereiro) a 152,6 horas (em agosto), sendo a média anual igual a 1.448,2 horas (**tabela 2.2**). O padrão de distribuição mensal (**figuras 2.1d e 2.2d**) é o mesmo em ambos os períodos de 30 anos considerados, com mínimos no trimestre chuvoso (janeiro a março) e máximos no período seco (agosto a outubro). Registra-se apenas, em relação às normais, uma redução (-1,63%) na magnitude da média anual de insolação no período de 1981-1990, consistente com a redução da temperatura máxima (-1,5°C) nos dois períodos de 30 anos, como já anteriormente descrito.

2.1.6 - Precipitação

Os totais mensais das precipitações normais do período de 1961-1990 em Benjamin Constant (**tabela 2.1**) oscilam entre 134,6 mm (junho) e 332,7 mm (janeiro), com uma média anual de 2.821,4 mm, dos quais 57% (1.610,1 mm) precipitam no primeiro semestre e 43% (1.211,3 mm) no segundo semestre. No período de 1981-2010 (**tabela 2.2**) as médias mensais variam de 101 mm (julho) a 299,9 mm (janeiro), com total anual de 2.509,1 mm. Desse total, 59% (1.475,4 mm) no primeiro semestre e 41% (1.033,7 mm) no segundo semestre. Esses números revelam que, em relação às normais de 1961-1990, o regime pluvial de Benjamin Constant nos 30 anos de dados mais recentes registra uma redução significativa (-11%) nas precipitações médias anuais, que pode ser reflexo de influência antrópica. Por outro lado, no período de 1961-1990 os percentuais precipitados no primeiro e no segundo semestre foram respectivamente de 57% e 43%, contra 59% e 41% no período de 1981-2010. À luz desses números, praticamente não houve alteração significativa no regime (distribuição temporal) das chuvas, na região de Benjamin Constant-Tabatinga.

2.1.7 - Número de dias de chuva

O número médio anual de dias de chuva em Benjamin Constant, segundo as Normais Climatológicas de 1961-1990 (**tabela 2.1**), é de 168 dias, dos quais 92 (55%) no chamado semestre chuvoso e 76 (45%) no semestre de estiagem. Já no período de 1981-2010 (**tabela 2.2**), embora tenha chovido 11% menos do que no período de 1961-1990, o número médio de dias de chuva é 22% maior, chegando a 205 dias, sendo 112 dias (55%) no semestre chuvoso e 93 dias (45%) no semestre de estiagem.

2.1.8 - Evapotranspiração

Dados de evapotranspiração em Benjamin Constant, existentes apenas para o período de 1981-2010 (**tabela 2.2**), segundo balanço hídrico da rede do INMET, indicam evapotranspiração potencial média anual de 1.676,7 mm (4,6 mm/dia) e média anual de 1.637,2 mm (4,5 mm/dia) para a evapotranspiração real.

Esses dados de evapotranspiração da base de dados do INMET não contemplam toda a série de 30 anos do período de 1981-2010, mas apenas períodos de 5 a 6 anos cujas médias foram incluídas na **tabela 2.2** para dar uma ideia das médias mensais e da média anual de dados disponíveis nesse período. Por esse motivo esses dados não permitem fazer uma análise dos períodos de maior e de menor evapotranspiração. Não obstante isso pode ser feito indiretamente usando os dados disponíveis de insolação mensal, cujos valores influem na energia radiante à qual a evapotranspiração, segundo a fórmula de Penman é diretamente proporcional.

Os dados de insolação da base de dados do INMET em Benjamin Constant cobrem 73% do período 1981-2010 (262/360) meses. Esses dados analisados em escala decenal revelam uma tendência de aumento, como ilustra a **figura 2.3**, chegando a 26,5% entre as décadas de 1981-1990 e 1991-2000 e 5,8% entre as décadas de 1991-2000 e 2001-2010, conforme mostrado na **tabela 2.3**. Pode-se, pois, admitir que essa é também a tendência da evapotranspiração em Benjamin Constant.

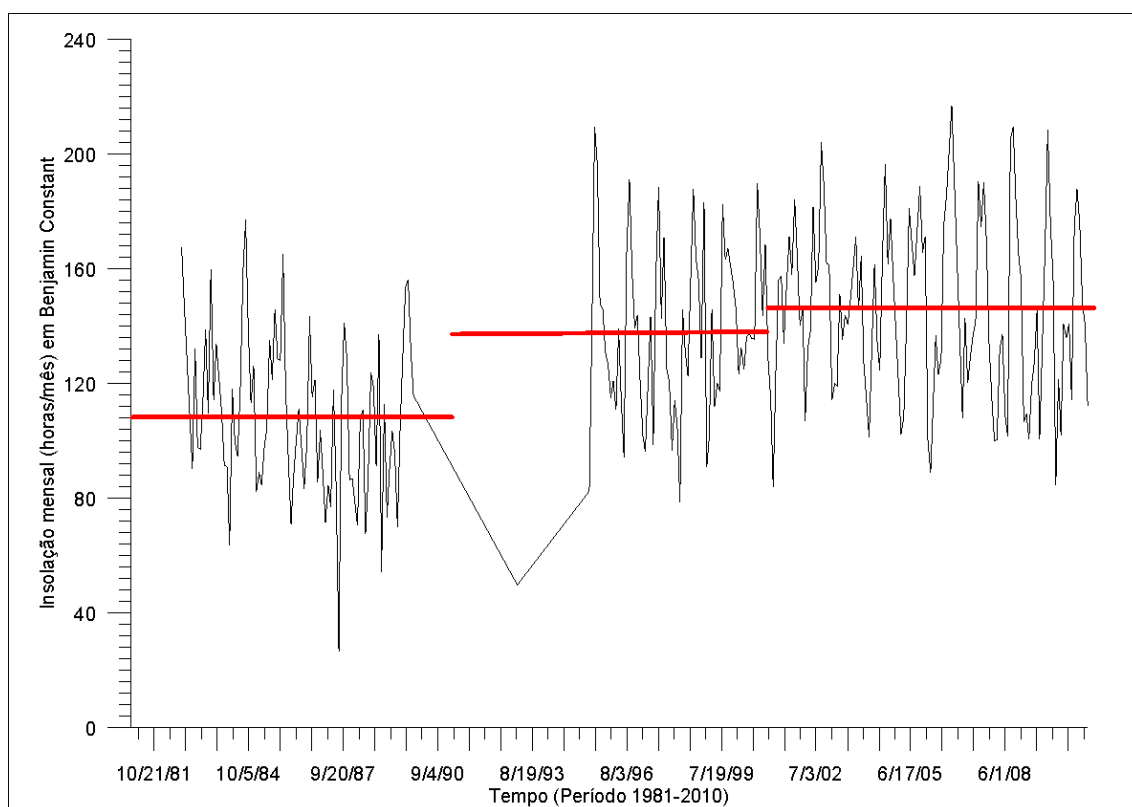


Figura 2.3 – Ilustração da tendência de aumento decenal da insolação mensal na Estação 82410 Benjamin Constant.

Tabela 2.3 – Variação da insolação mensal na Estação 82410 Benjamin Constant no período de 1981 a 2010.

Décênio	Número de meses	Insolação (horas/mês)		
		Mínima	Máxima	Média
Jan81-Dez90	85	26,5	177,1	108,3
Jan91-Dez00	68	49,8	209,6	137
Jan01-Dez10	109	83,9	216,8	145,5

2.2 - Relevo

Em escala regional, a planície Amazônica que margeia os rios de “águas brancas” (águas barrentas), ricas em material em suspensão, como o Solimões-Amazonas, Juruá, Madeira e Purus, e que está sujeita à inundação sazonal é, regionalmente, denominada de várzea. Segundo Lima *et al.* (2006) “a várzea compreende grandes faixas de terras, podendo alcançar até 100 km de largura, em um complexo sistema de canais, lagos, ilhas e diques marginais”.

As imagens de radar da região do Alto Amazonas mostram que, margeando as atuais planícies de inundação dos principais cursos d’água, há faixas rebaixadas que os geólogos do RADAMBRASIL acreditam ser terraços ou, quem sabe, uma sucessão deles, e vez ou outra revelam uma distinta quebra de relevo sobre o planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental e a Depressão Rio Acre-Javari. Os terraços resultam do trabalho de correntes que ali impuseram suas planícies de inundação e a abandonaram mais tarde. Na maioria das vezes, é limitada por uma pequena escarpa que se apresenta direcionada aos cursos d’água.

Ao conjunto de terras que não sofrem inundação nesta região, dá-se a denominação de Terra Firme, e nesta área, especificamente, são formados a partir de sedimentos terciários da Formação Solimões (Lima *et al.*, 2006).

De acordo com o modelo digital do terreno correspondente a folha de 15 minutos da região de Tabatinga (**figura 2.4**), o relevo é caracterizado pela ocorrência de duas unidades geomorfológicas: Planície Amazônica e Depressão do Solimões.

A **Planície Amazônica** é o domínio geomorfológico representado por aluviões holocênicos e terraços fluviais pleistocênicos muito amplos, por vezes com dezenas de quilômetros de largura, que ocorrem ao longo dos principais canais-troncos da bacia hidrográfica dos rios Negro-Solimões-Amazonas, nas cotas de 40 a 90 metros de altitude (CPRM, 2010). Na região de Tabatinga o MDT revela que esta superfície se desenvolve entre as cotas de 70 a 95 m e inclui terraços fluviais pleistocênicos indiferenciados (**figura 2.4**).

A **Depressão do Solimões** se compõe de argilitos, siltitos e arenitos de idade pliopleistocênica, pertencentes à Formação Solimões. Essa Unidade geomorfológica na região de Tabatinga coincide com a zona de afloramento da Formação Solimões, que ocorre na área de estudo bordejando os depósitos aluvionares holocênicos e os terraços fluviais pleistocênicos indiferenciados, e em cotas compreendidas entre 95 e 110 metros, descritas regionalmente pelo IBGE (1996), como de 90 a 110 m. Essa unidade de relevo está associada a uma rede de drenagem com padrões meândricos e direção geral noroeste-sudeste pela margem esquerda do Solimões-Amazonas. Engloba um conjunto de formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas inclinadas e lombas esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas, denotando eventual controle estrutural (IBGE, 2011).

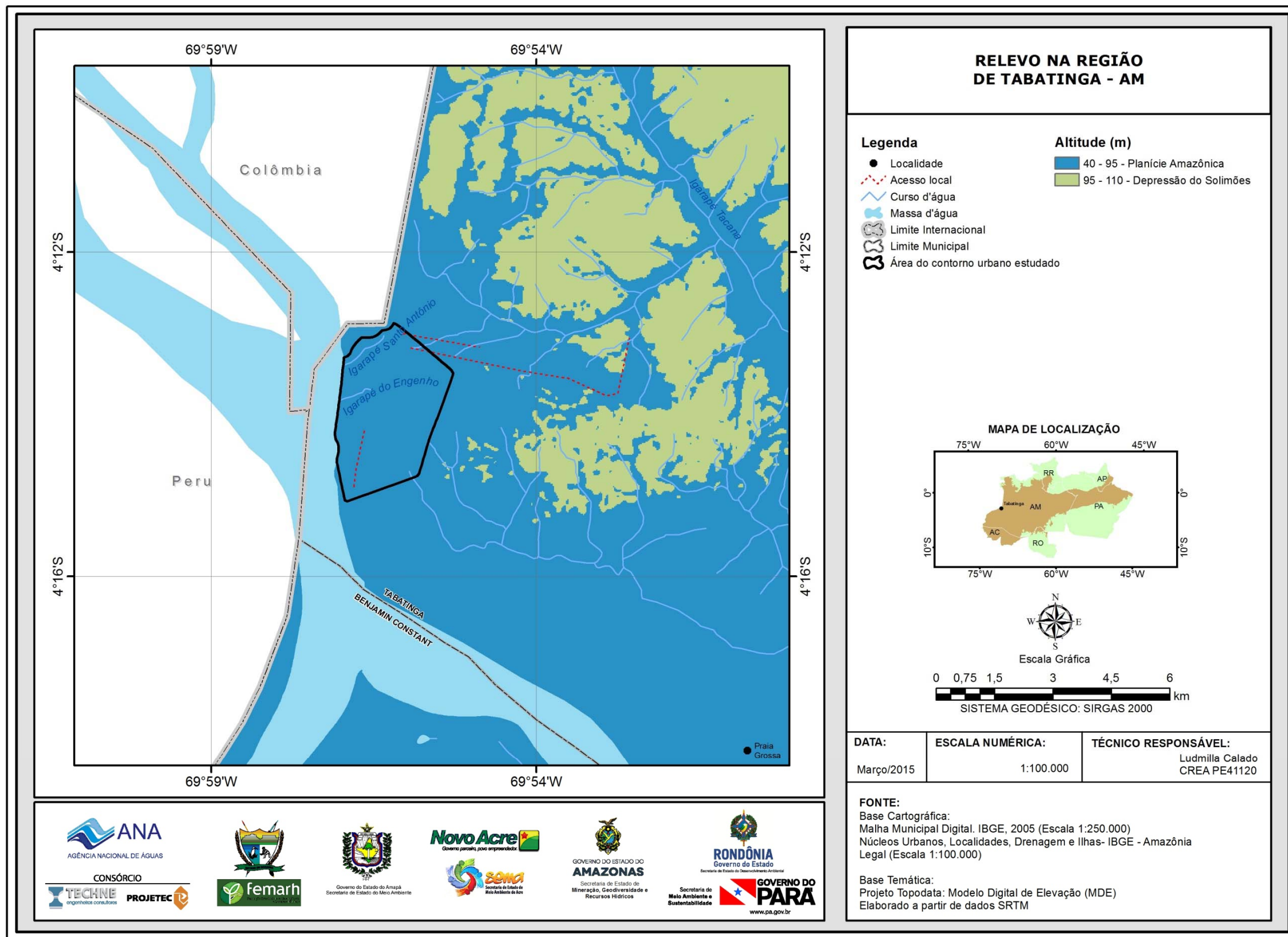


Figura 2.4 – Mapa do relevo da região Tabatinga - AM.

2.3 - Hidrografia

O estado do Amazonas está inserido na bacia hidrográfica Amazônica, a qual é banhada pelo maior rio do mundo, o Amazonas, que recebe várias denominações desde suas nascentes, na Cordilheira dos Andes, até adentrar ao Brasil, no município de Tabatinga - AM, quando passa a ser denominado rio Solimões, até o município de Manaus, local onde, ao se unir ao rio Negro, forma o rio Amazonas, que desemboca no oceano Atlântico, no estado do Pará. O município de Tabatinga é banhado pelos rios Solimões, Içá, Japurá e vários de seus afluentes, tais como: Apaporis, Traíra, Puretê, Puruê e Cunha (CPRM, 2010).

A área de estudo, da cidade piloto de Tabatinga está localizada na margem esquerda do rio Solimões, onde o rio circula na direção Noroeste para Sudeste, na região da tríplice fronteira, Brasil-Colômbia-Peru (**figura 2.5**). Na escala da folha de 15 minutos, a rede hidrográfica de tributários do Solimões, se restringe ao setor leste-nordeste, a qual é constituída de inúmeros igarapés, caracterizada por um padrão dendrítico de alta densidade de drenagem.

O território de Tabatinga contém três sub-bacias hidrográficas: a do igarapé do Tacana, a do Igarapé do Engenho ou D. Pedro e a do igarapé de Santo Antônio.

O igarapé do Tacana tem origem no Trapézio Colombiano e desemboca no rio Amazonas-Solimões, no Brasil, no sentido de Oeste para Leste. O igarapé se caracteriza pela sua elevada sinuosidade e sua composição química, a qual apresenta tons escuros quando ocorre o carreamento de sedimentos na época de chuvas torrenciais. O igarapé percorre uma distância de aproximadamente 11 km de extensão, passando por bairros da cidade de Tabatinga, no Amazonas e de Letícia, na Colômbia (Morcote-Ríos & Sicard, 2012).

O igarapé do Engenho percorre no sentido E-W uma distância de aproximadamente 0,73 km de extensão e está situado na margem esquerda do rio Solimões, no bairro Dom Pedro. O nome atribuído ao igarapé se refere ao engenho de cana-de-açúcar construído na década de 1970 as suas margens, de propriedade do Sr. Pedro Souza, que também deu origem ao nome do bairro D. Pedro. Por tal motivo, o igarapé é conhecido por dois nomes: o do Engenho ou D. Pedro (Silva, 2011).

O igarapé de Santo Antônio serve de limite fronteiro entre Brasil e Colômbia, onde na sua margem esquerda está Tabatinga - Amazonas, e na sua margem direita está Letícia - Colômbia. O igarapé percorre no sentido NE-SO uma distância de aproximadamente 1,08 km de extensão, abrangendo ambas as cidades. A qualidade da água do igarapé está bastante comprometida por conta da ocupação desordenada de suas margens e do despejo de resíduos, de modo a comprometer a ictiofauna (Silva, 2011).

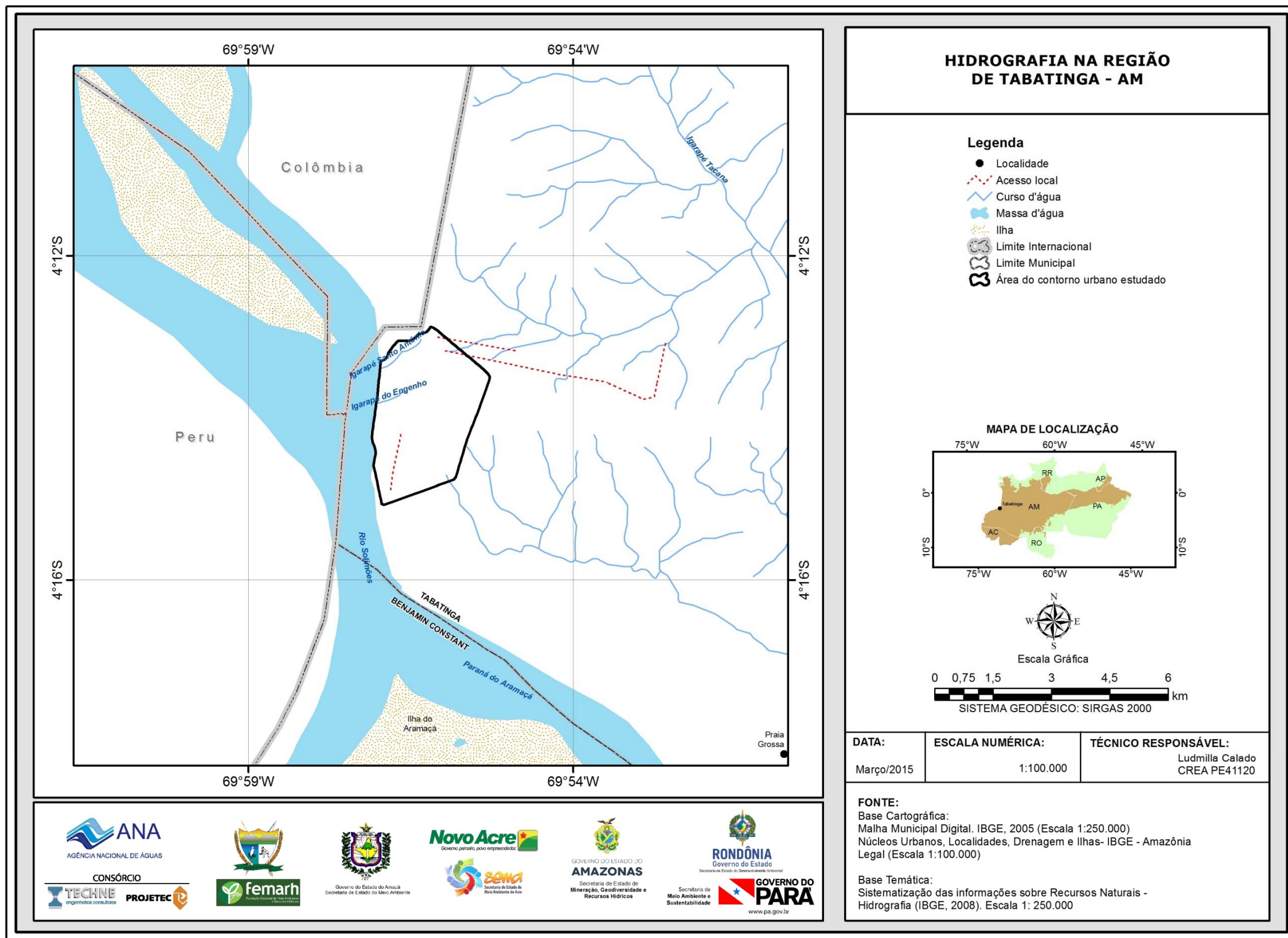


Figura 2.5 – Rede hidrográfica da região de Tabatinga-AM.

2.4 - Solos

De acordo com o estudo de Geodiversidade do estado do Amazonas (CPRM, 2010) há uma predominância de solos do tipo Argissolos (45%), Latossolos (26%), Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos (9%), Espodossolos (7%), Plintossolos (3,5%) e demais classes (9,5%) no território do Amazonas.

A caracterização dos solos na folha de 15 minutos da região de Tabatinga (**figura 2.6**) se baseia no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), através do qual é possível verificar as seguintes classes de solos:

- **Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico - PVAa:** classe de solo predominante na área de estudo, cobrindo uma superfície de 103 km² na folha de 15 minutos. Compreende solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico. Grande parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este.
- **Gleissolo Háplico Ta Eutrófico - GXve:** ocupa 36 km² na folha de 15 minutos e não está presente na área de estudo. Compreende solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização), ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos; não apresentam textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm da superfície do solo ou até um contato lítico, tampouco horizonte vértico, ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei ou qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. Horizonte plíntico, se presente, deve estar à profundidade superior a 200 cm da superfície do solo. Os solos desta classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no solo. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície. Caracterizam-se pela forte gleização, em decorrência do ambiente redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido, em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica.

- **Neossolo Flúvico Ta Eutrófico - RYve:** perfaz 3,16 km² na folha de 15 minutos e não está presente na área de estudo. Essa classe de solo compreende solos minerais pouco desenvolvidos, apresentando pequena expressão dos processos pedogenéticos como consequência de características do próprio material, de sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a sua evolução. Os Neossolos Flúvicos estão associados principalmente ao dique aluvial (barrancos dos rios) e às partes mais elevadas do interior da várzea, enquanto os Gleissolos ocorrem na parte mais interior e mais rebaixada da várzea. Nessa classe estão incluídos os solos que, no antigo sistema de classificação, foram classificados, principalmente, como Solos Aluviais. Os Neossolos Flúvicos do estado do Amazonas ocorrem principalmente às margens dos rios e lagos associado aos grandes rios.

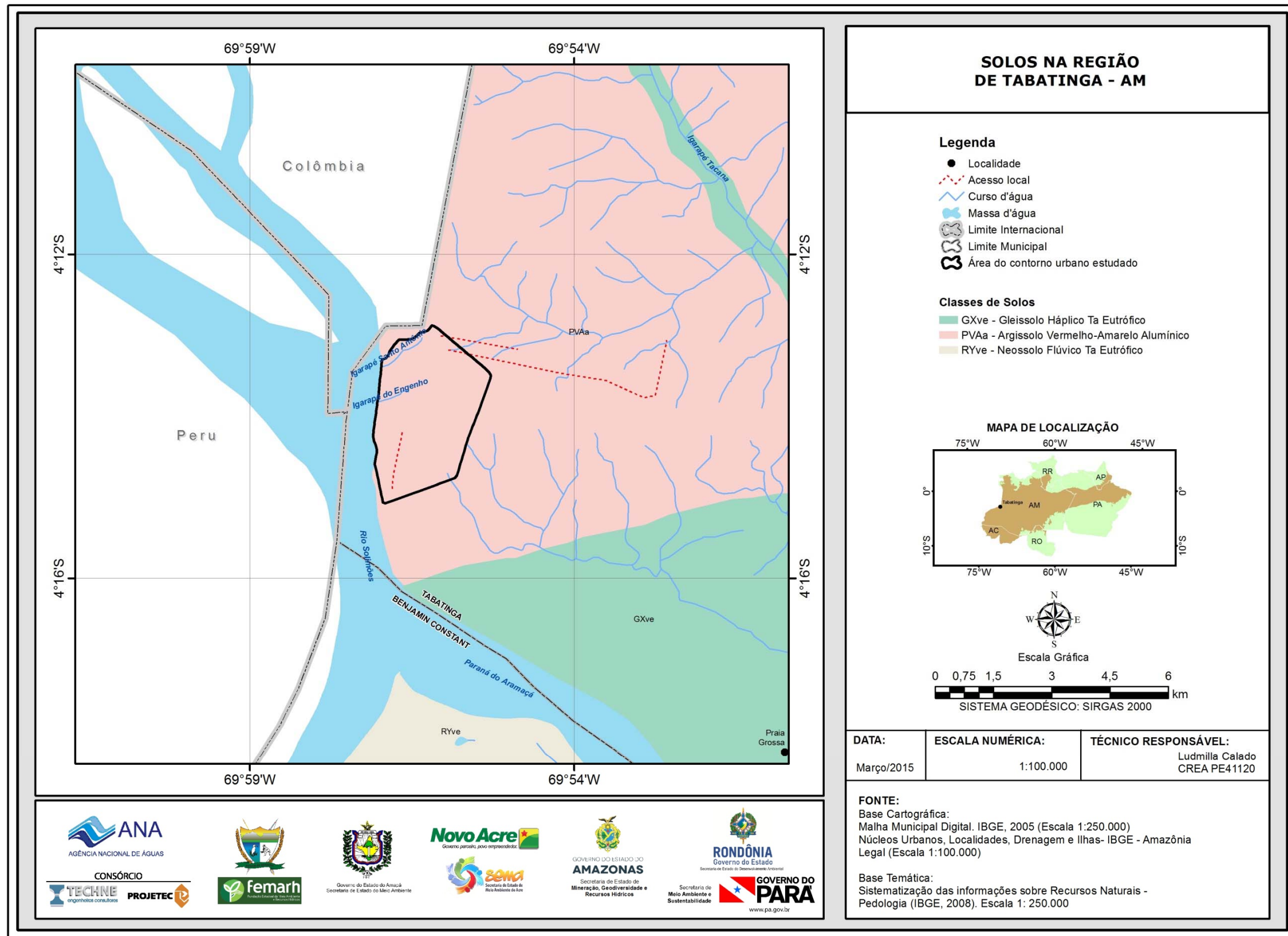


Figura 2.6 – Classes de solos existentes na região de Tabatinga-AM.

2.5 - Vegetação

O município de Tabatinga está totalmente inserido no bioma da Floresta Amazônica, nas fisionomias Floresta Ombrófila Aberta e Floresta Ombrófila Densa. Na região, a vegetação caracteriza-se predominantemente pela ocorrência de Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas e Floresta Ombrófila Aberta Aluvial, que são regionalmente conhecidas como Florestas de Terra Firme e Floresta de Várzea e Igapó.

De acordo IBGE (2012), nas florestas de terra firme encontram-se as grandes árvores de madeira de lei da Amazônia, onde as copas das árvores são tão grandes de modo a impedir a passagem da luminosidade, tornando o ambiente da floresta extremamente úmido e pouco ventilado. As matas de igapó localizam-se nos terrenos mais baixos, próximas aos rios, mantendo-se permanentemente alagadas, onde as árvores podem atingir 20 metros de altura, mas é comum encontrar árvores de dois a três metros, com ramificação baixa e densa, de difícil penetração. As matas de várzea localizam-se entre a terra firme e os igapós, variando de acordo com a proximidade dos rios, apresentam árvores de grande porte, como a seringueira, as palmeiras e o jatobá.

A vegetação natural da região (**figura 2.7**), de acordo com a classificação de Veloso *et al.* (1991), é composta pelas seguintes unidades:

- **Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Palmeiras** - é uma formação arbórea que se estabelece ao longo dos cursos de água, ocupando as aluviões e terraços da Planície Amazônica periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas de várzea ou matas de igapó, respectivamente. Destaca-se por apresentar um grande número de palmeiras de grande porte que, não raro, formam gregarismos e também pela dominância de lianas lenhosas e herbáceas. Essa unidade possui extensão de 35,12 km² na folha, dos quais 5,98 km² (17%) estão na área de estudo;
- **Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel Emergente** - conhecida por formação ribeirinha ou “floresta ciliar”, ocorre ao longo dos cursos d’água, ocupando os terraços antigos das planícies quaternárias. Esta formação é constituída por macro, meso e microfanerófitos de rápido crescimento, em geral de casca lisa, tronco cônico, por vezes com a forma característica de botija e raízes tabulares. Apresenta com frequência um dossel emergente uniforme, porém, devido à exploração madeireira, a sua fisionomia tem se tornado bastante aberta. Está presente apenas na área da folha de 15 minutos (96,4 km²), não possuindo representatividade na área de estudo;
- **Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel Emergente** - é a formação que recobre os tabuleiros terciários na zona costeira e os aluviões e terraços da Planície Amazônica ao longo dos rios e das grandes planícies interioranas, tendo por condição básica não ultrapassar a cota dos 100 m de altitude. A análise da estrutura do povoamento florestal revela particularidades, principalmente no que se refere ao porte e composição florística; não raro observam-se comunidades em fase de colonização do espaço, além da presença de

plantas comuns ao aluvião (várzea) e aos terraços (terra firme) que sugere uma mata de transição. Ocorre apenas na área da folha de 15 minutos, com cerca de 4,29 km², não possuindo relevância na área de estudo.

A urbanização cobre cerca de 3,35 km², o que equivale a aproximadamente 35,91% da área de estudo. A expansão urbana da cidade de Tabatinga e dos municípios vizinhos vem ocasionando desmatamentos significativos na vegetação primária. A retirada das árvores se deve basicamente a duas atividades econômicas da região: a exploração madeireira e a extração da argila para fabricação de tijolos (olarias).

De acordo com Santos *et al.* (2009), dos 90 hectares de área de floresta, 20 já foram desmatadas e os 70 hectares restantes ainda estão preservados. Contudo, cada vez mais a vegetação primária, vem cedendo lugar a áreas abertas, com árvores secundárias (ingazeiras, bananeiras e tucumã), e solo exposto aos processos erosivos que evoluem rapidamente em virtude das intensas chuvas que caracterizam a região.

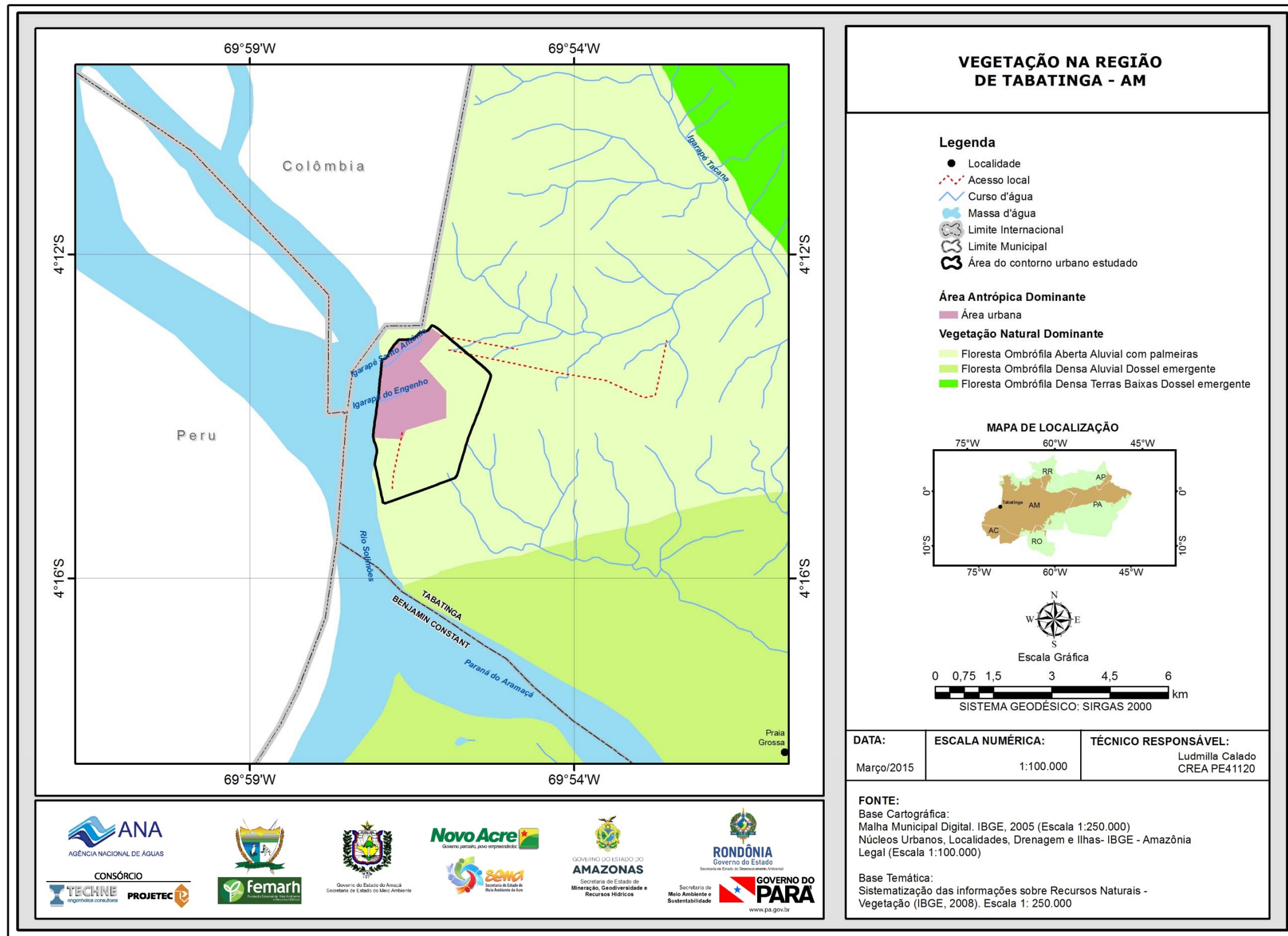


Figura 2.7 – Classes de Vegetação da região de Tabatinga-AM.

2.6 – Influência do Intemperismo Químico Regional na Qualidade das Águas Subterrâneas da Província Hidrogeológica Amazonas - PHA

As considerações a seguir, derivadas de Snoeyink & Jenkins (1980), ajudam a entender a formação da composição química dos tipos de águas naturais oriundas de precipitações e, por esse motivo, são úteis para a interpretação dos resultados das análises físico-químicas realizadas na PHA e também na cidade piloto de Tabatinga.

Como parte do ciclo hidrológico a água que evapora dos oceanos é transportada para o interior dos continentes. O vapor d'água, durante a sua passagem através da baixa atmosfera, tem a possibilidade de entrar em equilíbrio com os gases ali existentes, cuja composição média está sujeita a variações consideráveis, principalmente de alguns constituintes menores, tais como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), etc. que são produtos de processos de combustão e estão associados com a poluição do ar, em comunidades urbanas e industriais.

Quando precipita sobre a superfície do terreno, a água da chuva entra em contato com rochas, sedimentos, solos, áreas urbanas, animais e plantas. Desse contato decorrem reações químicas que posteriormente modificam a composição da água. As reações químicas dos ácidos da água da chuva (CO_2 , SO_2 e NO_x) com os minerais constituintes das rochas alteram esses minerais através de um processo chamado de *intemperismo químico*. Trata-se de um processo que depende exclusivamente da água.

Os fatores condicionantes deste processo são inúmeros, começando pelo clima, marcado por altas temperaturas e alta pluviosidade associadas a uma vasta cobertura vegetal, incluindo ainda relevo, circulação de água, condições de Eh e pH, variações no nível freático e, sobretudo, tempo de atuação desses fatores.

Na PHA esse processo vem atuando sobre as formações cenozoicas, nas quais se encontram os principais aquíferos, desde o Neomioceno até os dias atuais, ou seja, há milhões de anos, e dele resultaram como produtos: resíduos e solutos.

- **Resíduos:** são elementos “insolúveis” em água, tais como Al^{3+} e Fe^{3+} que dão origem a depósitos de bauxita e laterita, respectivamente, além do quartzo que resulta em areia;
- **Solutos:** são elementos móveis em solução: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 , HCO_3 , que são lixiviados no processo de intemperismo e quase totalmente (99%) transportados pelos rios, daí porque é de se esperar que na PHA esses íons não mais existam em quantidade significativa nos sedimentos e que hoje estes provenham, sobretudo, da água da chuva e de influências antrópicas, já que todas as amostras foram coletadas em zonas urbanas na PHA.

Portanto, a origem desses solutos nas águas subterrâneas dos aquíferos da PHA, nos quais predominam materiais arenosos, provavelmente pouco se deve

ao processo de intemperismo, que praticamente já está consumado. As baixas concentrações se devem ao fato de os íons provirem quase totalmente da chuva.

Em Tabatinga, assim como em toda a PHA, as águas subterrâneas apresentam baixos teores de STD, CE, Ca, Mg, K, Na, CO₃ e HCO₃, mas possuem altos teores de ferro, que afetam 40% das amostras na primeira campanha e 20% na segunda.

Por outro lado, a presença desses teores de ferro na água subterrânea não se deve diretamente ao intemperismo, pois este não gera ferro solúvel e sim à dissolução do Fe₂O₃ existente na laterita (39,34% em peso) pela água de infiltração oriunda da chuva, que possui pH ácido. Conforme avaliação de Honório *et al.* (2010), verificou-se uma acidificação maior das chuvas na região de Amazonas e Roraima, tendo sido encontrado valores de pH inferiores a 4,0 em Itapiranga, Tabatinga e Manaus.

Isso ocorre porque a água da chuva rica em O₂, em interação com o CO₂ da atmosfera, adquire caráter ácido e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica (processos redox), enriquecem o ambiente em CO₂, diminuindo ainda mais o seu pH (Teixeira *et al.*, 2000).

3 - Geologia

3.1 - Generalidades

No contexto geológico da região estudada domina em afloramento a Formação Solimões, distribuindo-se pelas bacias do Solimões e do Acre, prolongando-se pela Colômbia e Peru. Nessa formação ocorre uma sequência sedimentar, onde predominam argilitos e siltitos cinza, plásticos, muito fossilíferos, com frequentes níveis de linhito, concreções carbonáticas e gipsíferas, além de siltitos arenosos e arenitos finos a médios, de coloração amarelada (CPRM, 2000). Segundo o relatório da Geologia (**Volume II**), na referida sequência, que tem espessura média de 650 m, somente os primeiros 150 m pertencem à Formação Solimões, enquanto que os 500 m inferiores pertencem à Formação Repouso.

Os primeiros estudos para obtenção de água subterrânea na cidade de Tabatinga tiveram início em 1976, por ocasião da execução de sondagens dentro do Projeto Carvão do Alto Solimões, realizada pelo Departamento de Pesquisa Mineral (DNPM) e pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), onde foram construídos 5 poços com profundidade máxima de 22,60 m e vazão máxima de 4,2 m³/h (Maia *et al.*, 1977).

Nos poços tubulares construídos com sondas rotativas pela FUNASA (2001) em áreas indígenas na periferia da zona urbana de Tabatinga, em sua maioria, a coluna estratigráfica inicia-se com uma camada de argila compacta branca até a profundidade média de 8 m, seguida de outra de areia fina geralmente na cor branca e em média com 14 m de espessura; na sequência encontra-se uma de linhito variando da cor preta à castanha e, finalmente, vem uma espessa camada de argila compacta de cor cinza, de pouca importância hidrogeológica. O fator limitante das sondagens realizadas em Tabatinga é uma camada de linhito ou carvão fóssil encontrada até 25 m de profundidade.

Em Tabatinga, as águas subterrâneas se encontram a profundidades variáveis de 1,5 a 15 m, com valor médio de 7 m. Por esta razão são construídos poços tubulares com profundidade máxima de 25 m, usando o método de perfuração por jato d'água. Trata-se de uma sondagem rotativa manual, cuja aplicação é recomendada principalmente para terrenos sedimentares, que agrega técnicas de construção de poço raso escavado, com técnicas de sondagem rotativa e até alguns elementos da sondagem a percussão, que foram adaptados para atender às necessidades e condições de trabalho na região Amazônica (Azevedo, 2006).

3.2 – Estrutura e Tectônica

Segundo a **figura 1.25** do relatório da geologia (**Volume II**), regionalmente a tectônica da bacia do Solimões na região ao sul da cidade de Tabatinga, ao longo da margem direita dos rios Javari e Solimões, se desenvolve numa estrutura na qual são indicados os limites em subsuperfície, das sequências estratigráficas desde o Ordoviciano ao Mesozoico, o Alto de Carauari, a leste, o Alto de Iquitos, a oeste, bem como o Arco Jutai, ao sul, e o Arco Envira, a oeste.

Em um contexto regional mais restrito, o extrato do mapa geológico ao milionésimo da CPRM (2004), apresentado na **figura 3.1**, mostra a localização de 2 (dois) poços pioneiros da Petrobras. O primeiro, 2-BTST-1-AM (Benjamim Constant estratigráfico nº 1 Estado do Amazonas), localizado 19 km ao sul da cidade de Tabatinga, nas coordenadas 69°56'55" W e 4°23'45" S. O segundo, 2-RCST-1-AM (Rio Curuçá estratigráfico nº 1 Estado do Amazonas) localizado 80 km a oeste do poço Benjamin Constant, nas coordenadas 70°38'21,01" W e 4°26'17,48" S. Vale mencionar ainda um terceiro poço, já fora dos limites do mapa, a 180 km de distância do poço Rio Curaçá, denominado Rio Javari (2-RJ-1-AM), situado nas coordenadas 72°11'49,38" W e 4°45'48,89" S.

3.3 – Litoestratigrafia Regional de Tabatinga

A seção geológica de correlação entre os poços Rio Javari, a oeste, e Benjamin Constant, 260 km a leste (**figura 3.2**), revela na região de Tabatinga a seguinte litoestratigrafia:

3.3.1 - Formação Benjamin Constant

Em repouso sobre o embasamento cristalino e com espessura total de 228 m no poço Benjamin Constant, essa formação ocorre no intervalo de 950 a 1.178 m, apresentando 130 m de folhelhos intercalados por camadas de arenito que totalizam 98 m de espessura. Não foi detectada no poço Rio Curuçá.

3.3.2 – Pacote Paleozoico Indiferenciado

Inclui uma seção de sedimentos de litologia diversa e uma soleira de diabásio com 120 m de espessura. Os primeiros recobrem a formação Benjamin Constant e se distribuem no intervalo de 840 a 950 m, sendo compostos de arenitos, calcarenitos, anidrita, siltitos e folhelhos, acima dos quais, no intervalo de 720 a 840 m, se encontra a soleira de diabásio. Esse pacote não foi encontrado no poço Rio Curuçá.

3.3.3 – Formação Javari

É constituída de arenitos e conglomerados com intercalações de argilitos, que se encontram acima da seção paleozoica e da soleira de diabásio. No poço Benjamin Constant, dos 381 m de espessura dessa formação, no intervalo de 335 a 716 m, 325 m (88%) são arenitos e apenas 46 m (12%) são argilitos e folhelhos. No poço Rio Curuçá essa formação apresenta espessura de 377 m, no intervalo de 573 a 950 m e é composta de 324 m (86%) de arenitos e conglomerados, com apenas 53 m (14%) de argilitos e folhelhos. No poço Rio Javari, a espessura do pacote Javari alcança 500 m, com 85% ou 425 m de arenitos. Trata-se, portanto, de um aquífero confinado que ocorre na bacia do Solimões, sobre o embasamento cristalino, com espessura comparável à do aquífero Alter do Chão, na bacia do Amazonas.

3.3.4 – Pacote Repouso - Solimões

Acima da Formação Javari ocorre uma seção argilosa, com intercalações de arenito e siltito, denominada Formação Repouso, até então considerada como Formação Solimões em todos os trabalhos de palinologia da bacia do Solimões, mas existe uma discordância que a separa da Formação Solimões. Ressalta-se, entretanto, que a Formação Repouso é pouco conhecida e mais estudos estratigráficos são necessários (**Volume II – Geologia**).

No poço Benjamin Constant, cerca de 12 km a SSE da zona urbana, a sequência Repouso-Solimões apresenta espessura de 335 m, 100% constituída de argilitos e siltitos, numa seção que se estende da superfície do terreno até a profundidade de 335 m. No poço Rio Curuçá, a espessura total é de 550 m sendo 532 m de folhelhos e argilitos (97%) e 18 m (3%) de arenitos. No poço Rio Javari, o referido pacote apresenta espessura de 758 m dos quais apenas 113 m (15%) são de arenitos intercalados em camadas pouco espessas, enquanto que os restantes 85% são constituídos de argilitos e folhelhos. A simples análise dos perfis compostos não permite separar essas duas formações, notadamente porque apresentam a mesma distribuição litológica.

3.3.5 – Formação Içá

Segundo a carta cronoestratigráfica mostrada na **figura 1.27** do Volume II – Relatório da Geologia – essa formação tem idade pleistocênica e é constituída de materiais arenosos de ambiente deposicional fluvial aluvionar e repousa sobre os argilitos da Formação Solimões. Na região de Tabatinga, não ocorre no poço Benjamin Constant, que foi perfurado sobre a Formação Solimões aflorante, todavia, no poço Rio Curuçá, 80 km a oeste, se acha representada por uma camada de 23 m de arenito no intervalo de 0 a 23 m e no poço Rio Javari, por uma camada arenosa superior no intervalo de 0 a 17 m. Constitui um aquífero livre de pequena espessura, com média estimada em 20 m.

3.4 – Litoestratigrafia Local

De acordo com o mapa geológico da folha de 15 minutos da região de Tabatinga (**figura 3.3**), duas unidades litoestratigráficas podem ser consideradas: Formação Solimões (E2N2s); Aluviões Holocênicos e Terraços Fluviais Pleistocênicos (Qat).

3.4.1 – Pacote Repouso-Solimões

De acordo com a carta cronoestratigráfica (**figura 1.27 – Volume II – Geologia**) a Formação Repouso tem espessura média de 500 m e a Formação Solimões, espessura média de 150 m.

No **anexo 7.2.2** se encontram 64 poços dentro da folha de 15 minutos catalogados das Fichas Técnicas Completas de Poço (FTCP) da CPRM/SIAGAS. Essas FTCP são bastante incompletas e delas somente foi possível obter, sobre cada um dos poços, dados de profundidade (66), de diâmetro (64), de revestimento, filtro e material do filtro (11), de nível estático (31), de nível dinâmico (7) de vazão (17), de perfil construtivo (1) e de perfil litológico e construtivo (6).

Dos 6 (seis) poços com perfil litológico e construtivo, locados na **figura 4.3**, existe um (S4186) dentro da área de estudo e 5 (cinco) fora da mesma, estando 4 (quatro) deles (S4144, S4146, S4148 e S4151) situados ao sul, a cerca de 1,5 a 2 km da área de estudo e um (S4192) na cidade de Benjamin Constant, cerca de 20 km a SSW de Tabatinga. De acordo com a interpretação da CPRM/SIAGAS indicada nas FTCP a parte superior das seções perfuradas seria constituída de depósitos aluvionares assentados em discordância sobre linhito preto da Formação Solimões, cujo topo na região urbana de Tabatinga se encontra entre as profundidades de 19 a 24 m.

A análise das imagens SRTM, com o auxílio do MDT, sugere que na Planície Amazônica ocorrem aluviões e terraços fluviais indiferenciados (Qat), em cotas inferiores a 100 m. No intervalo de 100 a 110 m se encontram resíduos isolados da Formação Solimões, que aflora extensivamente em todo o setor nordeste da folha de 15 minutos, como indica o mapa geológico mostrado na **figura 3.3**.

3.4.2 – Aluviões Holocênicos e Terraços Fluviais Pleistocênicos Indiferenciados

Morfologicamente, o conjunto desses depósitos (Qat) se desenvolve, em escala local, sobre a Planície Amazônica, que constitui a superfície de inundação do rio Solimões pela margem esquerda entre cotas de 70 a 95 m, numa faixa de terra compreendida entre o rio e o contato com a Formação Solimões, no domínio da Depressão do mesmo nome. Regionalmente, eles ocupam uma ampla área ao longo de ambas as margens do rio Solimões, conforme **figura 3.1**, e portanto, em Tabatinga o mais provável é que esses depósitos de aluviões e terraços fluviais sejam aqueles revelados pelos perfis dos poços apresentados nas **figuras 3.4 e 3.5**, e como sugerem as FTCP da CPRM.

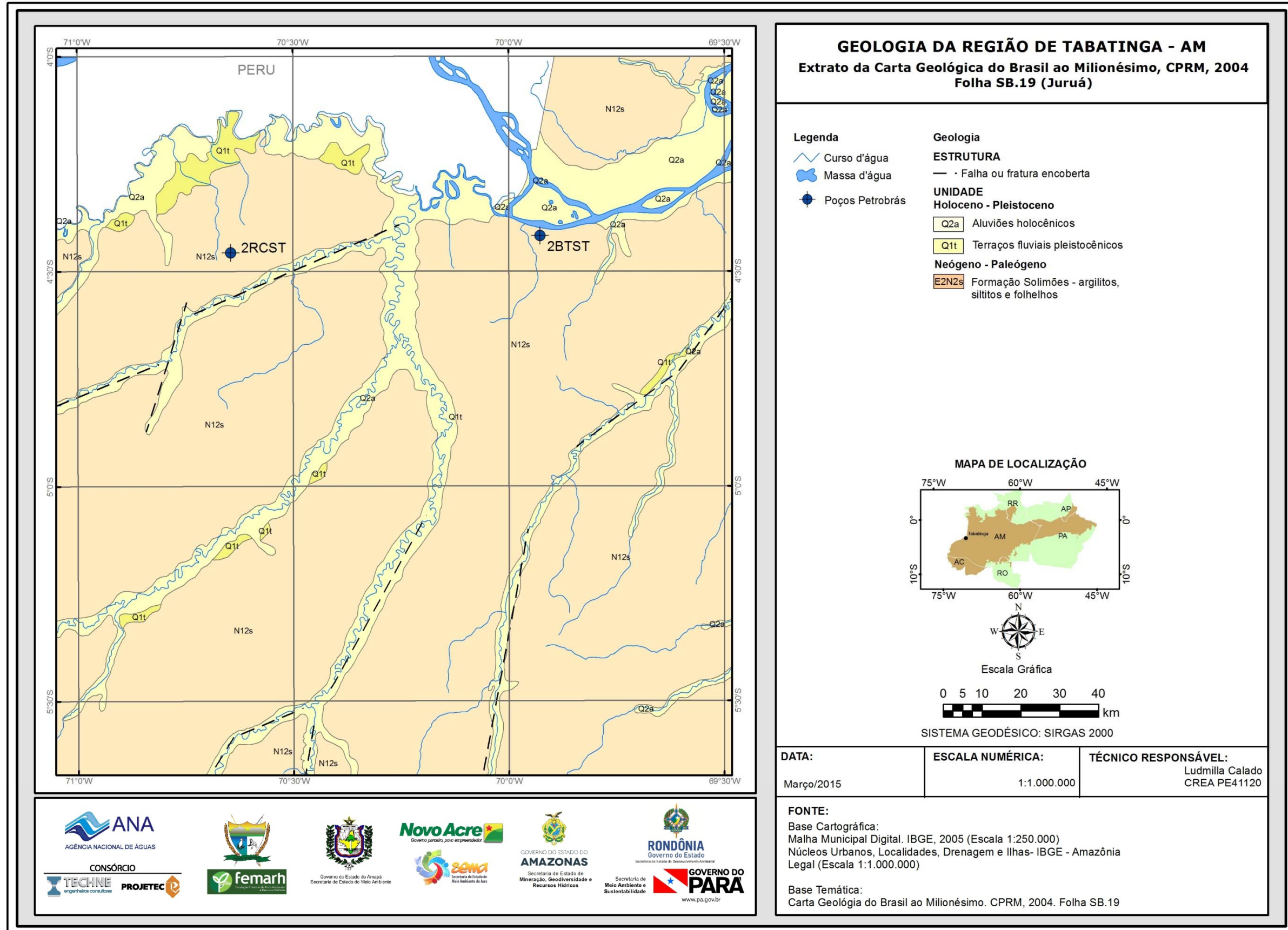


Figura 3.1 – Extrato do mapa geológico ao milionésimo da região de Tabatinga, com localização dos poços estratigráficos mais próximos de Tabatinga – AM, perfurados pela Petrobrás.

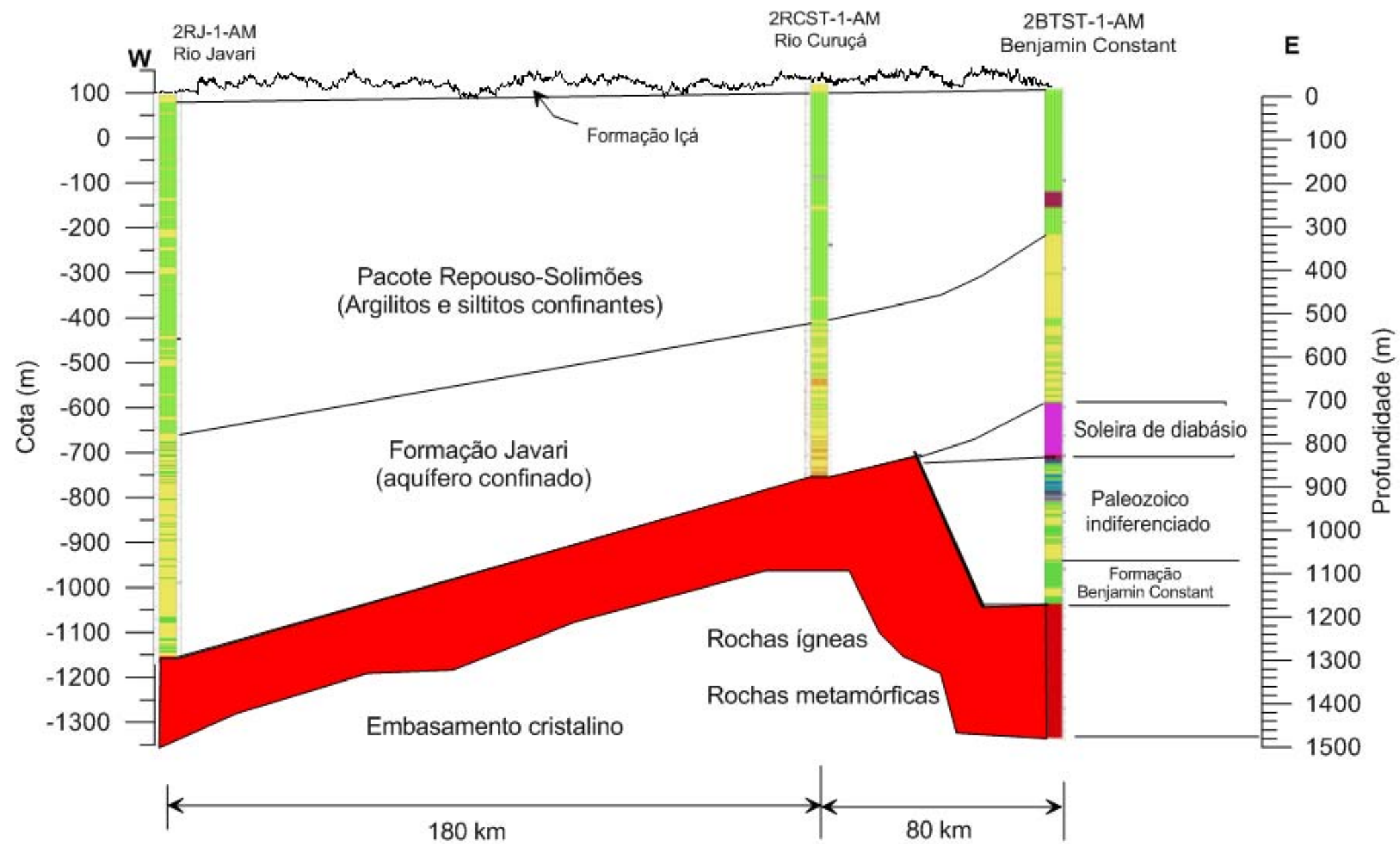


Figura 3.2 – Seção geológica transversal entre os poços estratigráficos Rio Javari, Rio Curuçá e Benjamin Constant perfurados pela Petrobras na região sudoeste de Tabatinga – AM, evidenciando a ocorrência das Pacote Repouco-Solimões como um aquitardo e da Formação Javari como um importante aquífero confinado, em repouso sobre o embasamento cristalino.

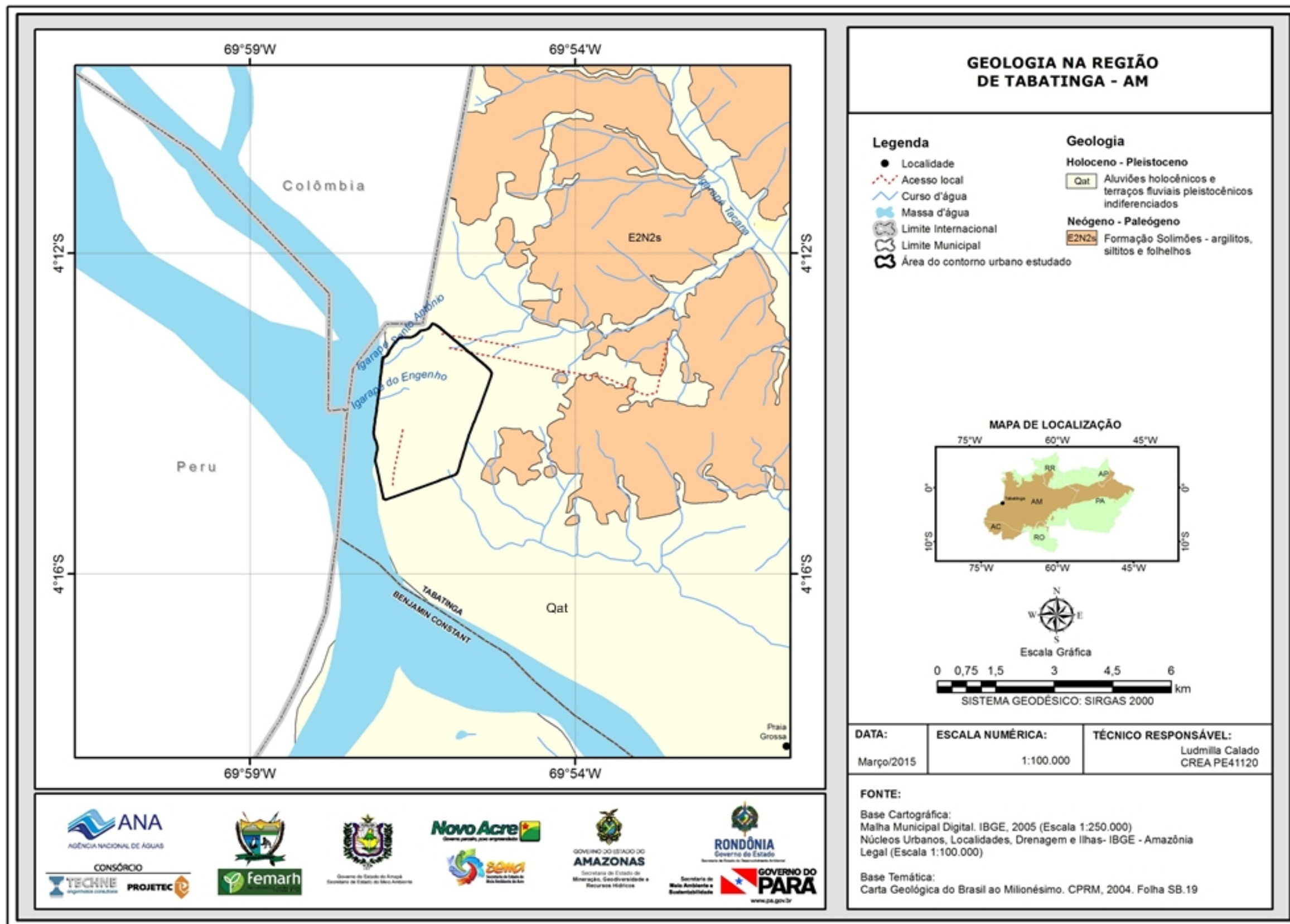


Figura 3.3 - Mapa geológico da folha de 15 minutos da região de Tabatinga – AM.

Tabela 3.1 – Litologia de 6 (seis) poços tubulares com perfis litológicos e construtivos no Aquífero Aluvial de Tabatinga – AM e dados de um poço (S4179) apenas com perfil construtivo.

SIAGAS	UTM (E)	UTM (N)	Proprietário	Profundidade (m)	Filtro		Litologia		
					De	Até	De	Até	Material
S4144	396042	9527864	COMUNIDADE UMARIAÇU I	35	11,00	19,00	0	0,4	Solo
							0,4	7	Argila compacta
							7	19	Areia fina
							19	23	Linhito
							23	35	Argilito
S4146	396038	9528342	COMUNIDADE UMARIAÇU I	30	20	28	0	4	Argila
							4	21	Areia fina
							21	22	Linhito
							22	26	Argilito
							26	30	Linhito
S4148	395267	9528492	COMUNIDADE UMARIAÇU I	30	11	19	0	7	Argila
							7	19	Areia fina
							19	23	Linhito
							23	30	Argilito
S4151	395404	9528642	COMUNIDADE UMARIAÇU I	36	12	24	0	0,5	Argila arenosa
							0,5	8	Argila
							8	20	Areia fina
							20	24	Areia média
							24	30	Linhito
							30	32	Arenito fino
							32	36	Argilito
S4179	395591	9531236	HAMILTON BATISTA DELGADO	18	6	18			
S4186	395886	9533050	LEONILHA PINTO BATISTA	18	9	18	0	3	Argila
							3	18	Areia média

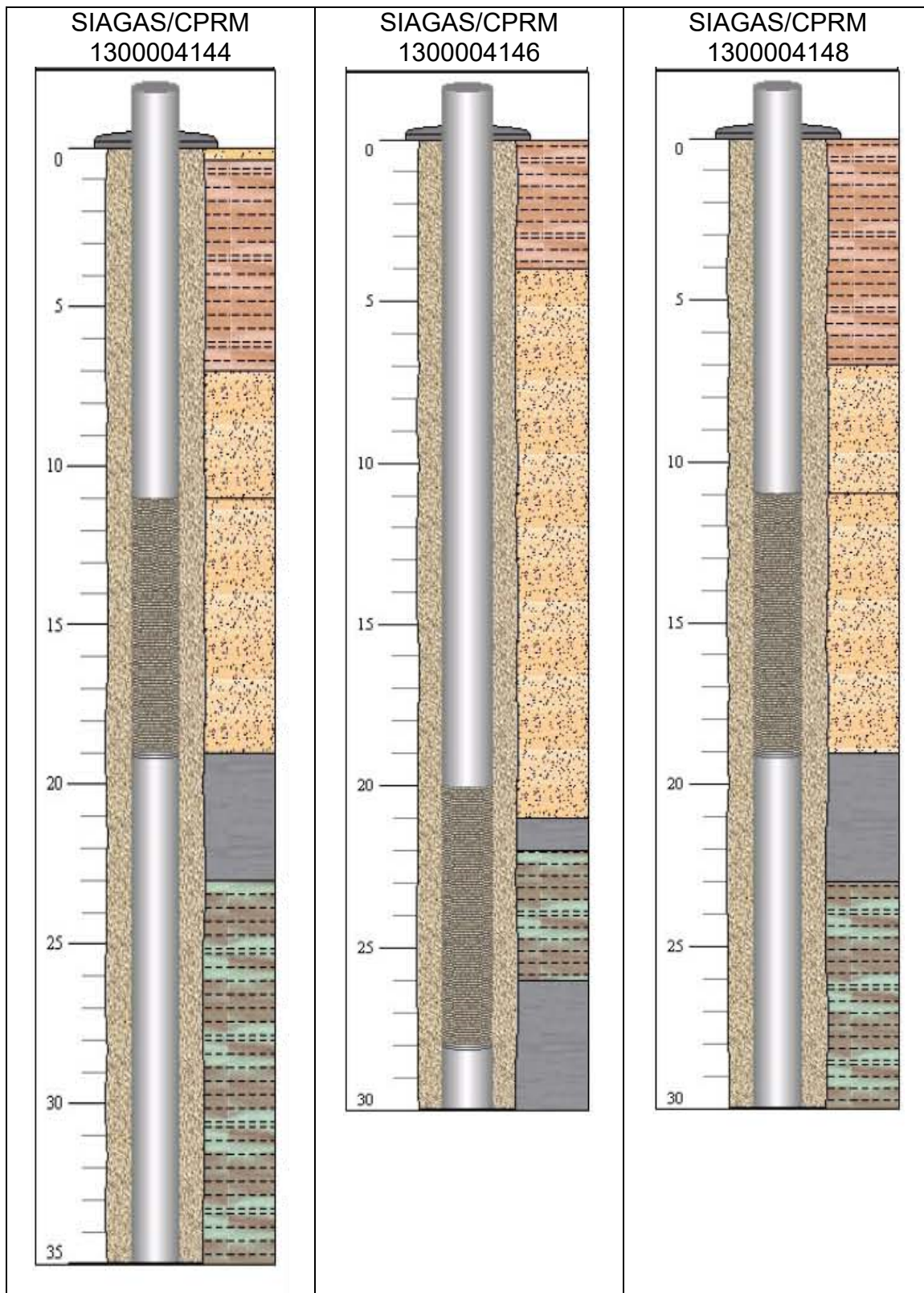


Figura 3.4 – Perfis litológicos e construtivos de 3 (três) poços, sendo 2 (dois) com profundidades de 30 m e um com profundidade de 35 m, perfurados no pacote aluvionar sobre linhito e argilito cinza azulado da Formação Solimões na área de estudo.

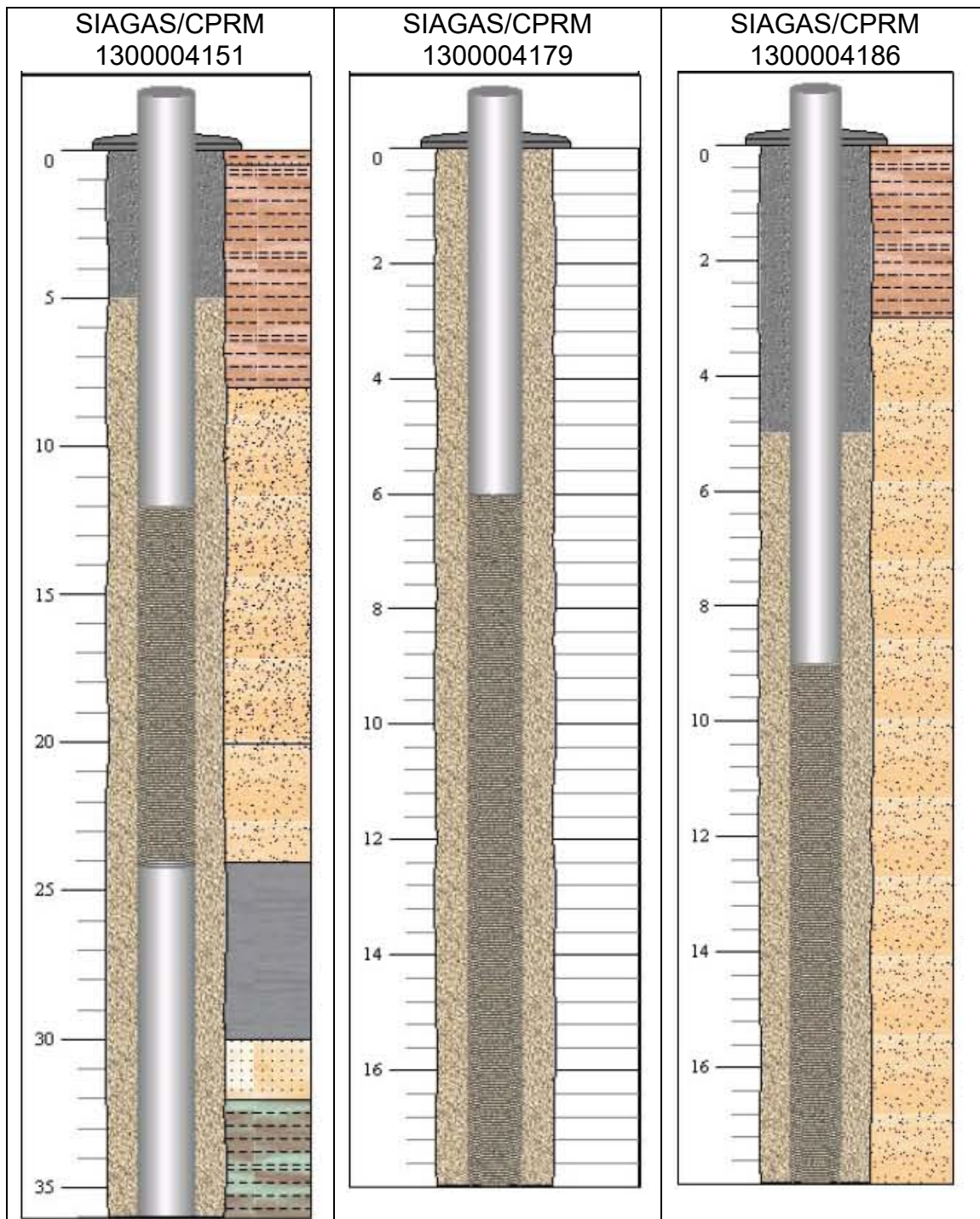


Figura 3.5 – Perfis litológicos e construtivos de 2 (dois) poços com profundidades de 36 m e 18 m, respectivamente, e perfil construtivo do poço testado S4179 correspondente ao TBT17, todos perfurados no pacote aluvionar da área de estudo. No poço mais profundo a base do aquífero se encontra a 24 m de profundidade, em repouso sobre linhito e argilito cinza azulado da Formação Solimões.

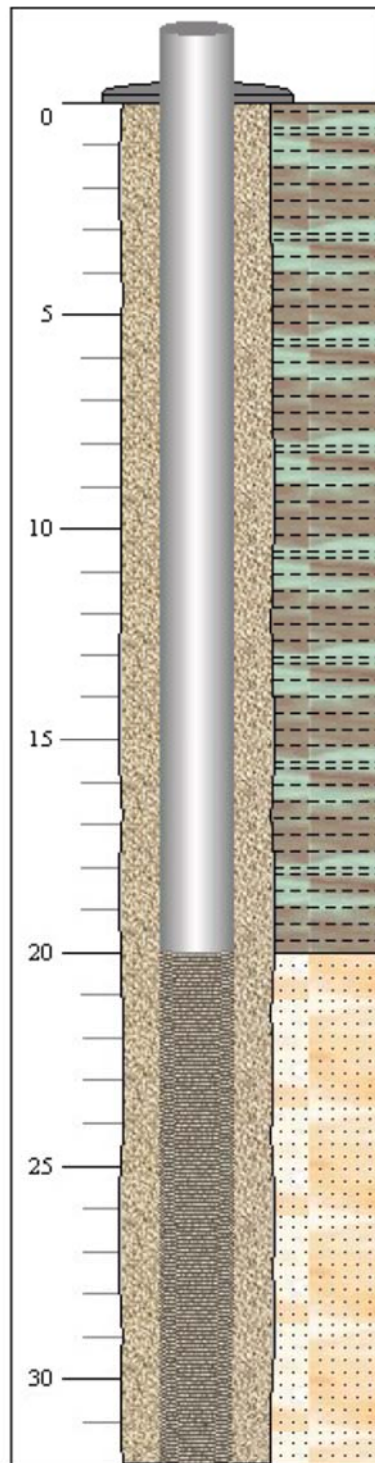


Figura 3.6 – Perfil litológico e construtivo do S4192 m perfurado no Aquitardo Solimões e captando uma primeira camada arenosa (UHF1) situada no intervalo de 20 a 32 m, no centro da cidade de Benjamin Constant, no sudoeste da folha de 15 minutos.

4 – Hidrogeologia e Hidrodinâmica

4.1 - Generalidades

Do ponto de vista hidrogeológico, de acordo com a seção geológica apresentada na **figura 3.2**, é possível caracterizar na região de Tabatinga 5 (cinco) unidades litoestratigráficas (ULs) representadas pelos depósitos aluvionares e terraços aluviais, Formações Içá, Repouso, Solimões e Javari, nas quais podem ser ou não encontradas unidades hidrogeológicas de fluxo (UHF).

Os depósitos aluvionares ocupam áreas expressivas ao longo das margens do rio Solimões e são constituídos, em Tabatinga, de camadas argilosas na parte superior com espessuras de 3 a 8 m, seguidas de areia fina a média e espessura variável de 12 a 17 m em repouso sobre linhito preto e argilito cinza azulado atribuídos à Formação Solimões. Essa camada arenosa constitui a UHF do pacote aluvionar, denominada nesse projeto de **Aquífero Aluvial**, no qual se incluem os terraços aluviais.

A Formação Içá é totalmente arenosa e por si só constitui uma UHF representada pelo **Aquífero Livre Içá**, que não ocorre no poço de Benjamin Constant, mas está presente nos poços do Rio Curuçá, com 20 m de espessura, no intervalo de 0 a 20 m de profundidade, e no poço Rio Javari, no intervalo de 0 a 18 m de profundidade. Localmente, tanto na cidade de Benjamin Constant, quanto na cidade de Tabatinga, esse aquífero não ocorre.

O pacote Repouso-Solimões pode ou não conter UHFs e, assim sendo, ora se apresenta como **Aquitardo Repouso-Solimões**, ora como **Aquiclude Repouso-Solimões**.

No poço de Benjamin Constant, 12 km a SSE da cidade, a sequência Repouso-Solimões não possui UHFs (**item 3.3.4**) e por este motivo é classificada, do ponto de vista hidrogeológico, como um *aquiclude*. Mas a maioria dos poços estratigráficos regionais, ela contém UHFs (intercalações de camadas arenosas), razão pela qual, do ponto de vista hidrogeológico, é classificada como *aquitardo*, sendo essa a sua condição dominante, como se observa nos poços do Rio Curuçá e do Rio Javari.

No poço do Rio Curuçá, por exemplo, o *aquitardo* Repouso-Solimões possui duas UHFs, sendo uma com 10 m de espessura no intervalo de 294 a 304 m de profundidade e outra com 8 m de espessura no intervalo de 514 a 522 m de profundidade. No poço do Rio Javari são 19 UHFs, distribuídas nos intervalos e com as espessuras indicadas na **tabela 4.1**.

Tabela 4.1 – Intervalos de ocorrência e espessuras das UHF's do *Aquitardo Repouso-Solimões* no poço do Rio Javari (2-RJ-1-AM).

UHF	Intervalo (m)		Espessura de arenito (m)
	De	Até	
1	41	44	3
2	88	89	1
3	141	142	1
4	164	167	3
5	199	201	2
6	231	238	7
7	272	275	3
8	235	236	1
9	301	320	19
10	341	349	8
11	386	402	16
12	424	426	2
13	531	533	2
14	540	548	8
15	566	571	5
16	581	585	4
17	592	608	16
18	670	674	4
19	720	728	8
Total			113

O **Aquífero Confinado Javari**, em particular, como já descrito no item 3.3.3, tem espessura de 381 m em Benjamin Constant e de 500 m na fronteira com o Peru, apresentando-se, no topo, confinado pelos sedimentos pouco permeáveis do *Aquitardo Repouso-Solimões* e assentado, na base, sobre o embasamento cristalino. Esse aquífero é ainda desconhecido porque nenhum poço o alcançou na região. No poço de Benjamin Constant (2BST1-1-AM) ele ocorre no intervalo de 335 a 716 m de profundidade e, portanto, somente pode ser captado por poços profundos. Embora esse poço de Benjamin Constant esteja localizado a cerca de 13 km a SSE da cidade e a cerca de 18 km ao sul do centro de Tabatinga, tudo indica que o aquífero Javari também ocorre na área de Tabatinga.

A possibilidade de aproveitamento desse aquífero para abastecimento de água na região depende da perfuração de um furo pioneiro de reconhecimento até a base da Formação Javari, que pode ser o paleozoico indiferenciado ou até mesmo o embasamento cristalino. Esse furo deve ser complementado por perfilagem geofísica para que se possa avaliar a litologia, espessura, carga hidráulica e a viabilidade de completação como poço produtor. Somente após essa investigação é que se poderia, em caso positivo, projetar um poço produtor e após a realização do teste de produção, definir as condições de exploração. Em primeira aproximação, o ideal, se possível, seria aproveitar o poço pioneiro já existente (2BST1-1-AM) da Petrobras para fazer essa avaliação de possibilidade de aproveitamento de água subterrânea na região.

4.2 – Aquífero Aluvial

Com base na descrição apresentada no **item 3.4.2** pode-se dizer que o aquífero explotado na cidade de Tabatinga corresponde à primeira camada arenosa (UHF1) do pacote aluvial. Trata-se de uma camada de areia com espessura variável de 12 a 17 m, com média da ordem de 15 m, delimitada no topo por uma camada superior de argila com espessura média de 6 m (variável de 3 a 8 m), e na base por linhitos e argilitos pouco permeáveis, situados entre as profundidades de 19 a 36 m, como foi visto nas **figuras 3.4 e 3.5**.

A profundidade média do nível estático, segundo os dados levantados em abril (4,72 m) e outubro (6,33 m) de 2012, é da ordem de 6 m. Isto indica que, em média, o nível de água se encontra praticamente no topo da camada de areia, cuja profundidade média é de 6 m. Portanto, a camada aquífera pode ser considerada do tipo livre, uma vez que praticamente não existe carga de confinamento.

4.2.1 – Litologia, Dimensões e Limites

Pelo que já foi descrito nos itens anteriores, pode-se afirmar que o aquífero Aluvial em Tabatinga, na área de interesse do estudo, é litologicamente constituído de areia fina a média (**tabela 3.1**), com espessura média de 15 m. A sua condição hidráulica é do tipo livre, com o topo distribuído verticalmente no intervalo de 3 a 8 m e a base no intervalo de mais de 18 a 24 m, com espessura média saturada de 15 m em repouso sobre linhitos e argilitos pouco permeáveis. Para maior clareza quanto a essas dimensões, os dados obtidos dos poços com perfil litológico e construtivo (**figuras 3.4 e 3.5**), são apresentados de forma resumida e aproximada na **tabela 4.2**.

Tabela 4.2 – Dimensões do Aquífero Aluvial e extensão dos filtros segundo dados de 5 (cinco) poços com perfil litológico e construtivo catalogados do SIAGAS/CPRM.

Poço	Profundidades (m)			Espessura (m)	Extensão de filtros (m)	Observação
	Perfuração	Topo	Base			
S4144	35	7	19	12	8	Poço fora da área estudo porém situado na folha de 15 minutos
S4146	30	4	21	17	8	
S4148	30	7	19	12	8	
S4151	36	8	24	16	12	
S4186	18	3	>18	>15	7	Poço na área de estudo
Média	29,8	5,8	>20,2	>14,4		
Valor aproximado	30	6	21	15		

O modelo litoestratigráfico do referido aquífero é composto por um diagrama de cerca (**figura 4.1**) e por um bloco 3D (**figura 4.2**). Dentre 64 poços catalogados pelo SIAGAS/CPRM na região de Tabatinga (**anexo 7.2.2**), somente foi possível utilizar como base para essa modelagem a informação disponível relativa à litologia obtida dos perfis de apenas 5 (cinco) poços, mostrados nas **figuras 3.4 e 3.5**. Conforme já visto na **tabela 4.2** apenas um desses poços se encontra dentro da área de estudo, porém os 4 (quatro) restantes se encontram a pouca distância (de 1,5 a 2 km ao sul).

Na construção do diagrama de cerca, foram utilizados 5 (cinco) seções de direção aproximada Leste-Oeste transversais à área de estudo sobre as quais foram distribuídos 15 pontos (P1 a P15), como apresentado na **figura 4.1**. A litologia estabelecida em cada um desses pontos foi inferida dos poços com perfil litológico conhecido e tem finalidade puramente ilustrativa, uma vez que, a rigor, a litologia inferida nesses pontos não corresponde exatamente a eles, mas é inferida dos 5 (cinco) poços com perfis conhecidos, situados nas suas proximidades. Assim, é claro que esse modelo certamente pode não corresponder à realidade, mas à luz dos dados disponíveis, se afigura como uma aproximação bastante esclarecedora da mesma.

Através do bloco 3D do pacote aluvial construído com base nos poços sobre uma área de estudo com apenas 9,36 km², estimou-se o volume em 1,85E08 m³, dos quais 72% correspondem ao volume da UHF, ou seja, da camada de areia (Aquífero Aluvial) e 28% ao volume de argila, o que implica em uma espessura média total de $1,85E08/9,36E06=19,76$ m, ou cerca de 20 m. Considerando um nível estático médio de 6 m, coincidente com a profundidade média do topo do aquífero e estando a base a uma profundidade média de 21 m (**tabela 4.1**), tem-se uma espessura saturada média de 15 m de areia, que corresponde à camada aquífera em estudo.

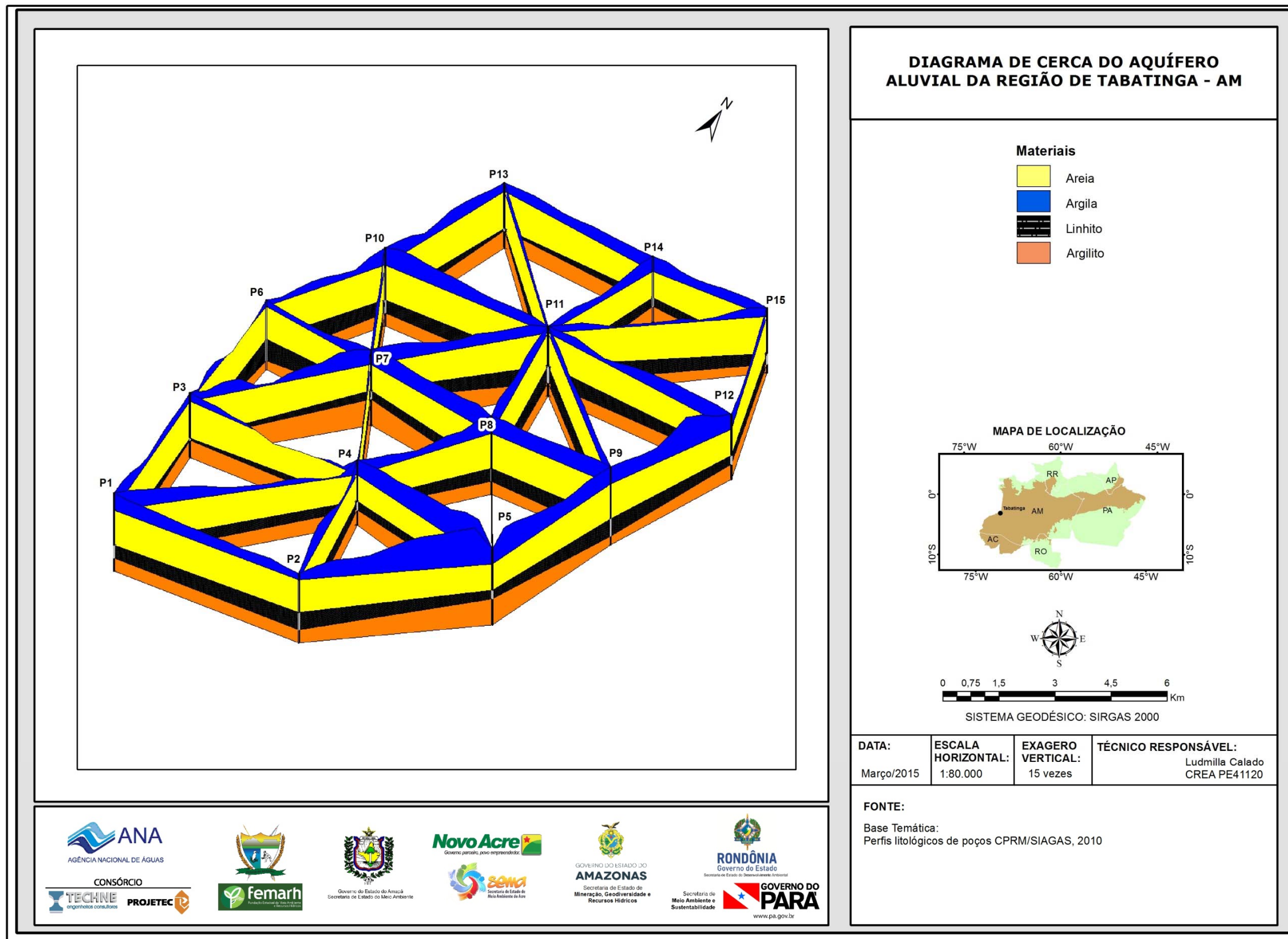


Figura 4.1 – Diagrama de cerca do pacote aluvionar mostrando a camada de areia aquífera na cidade de Tabatinga – AM.

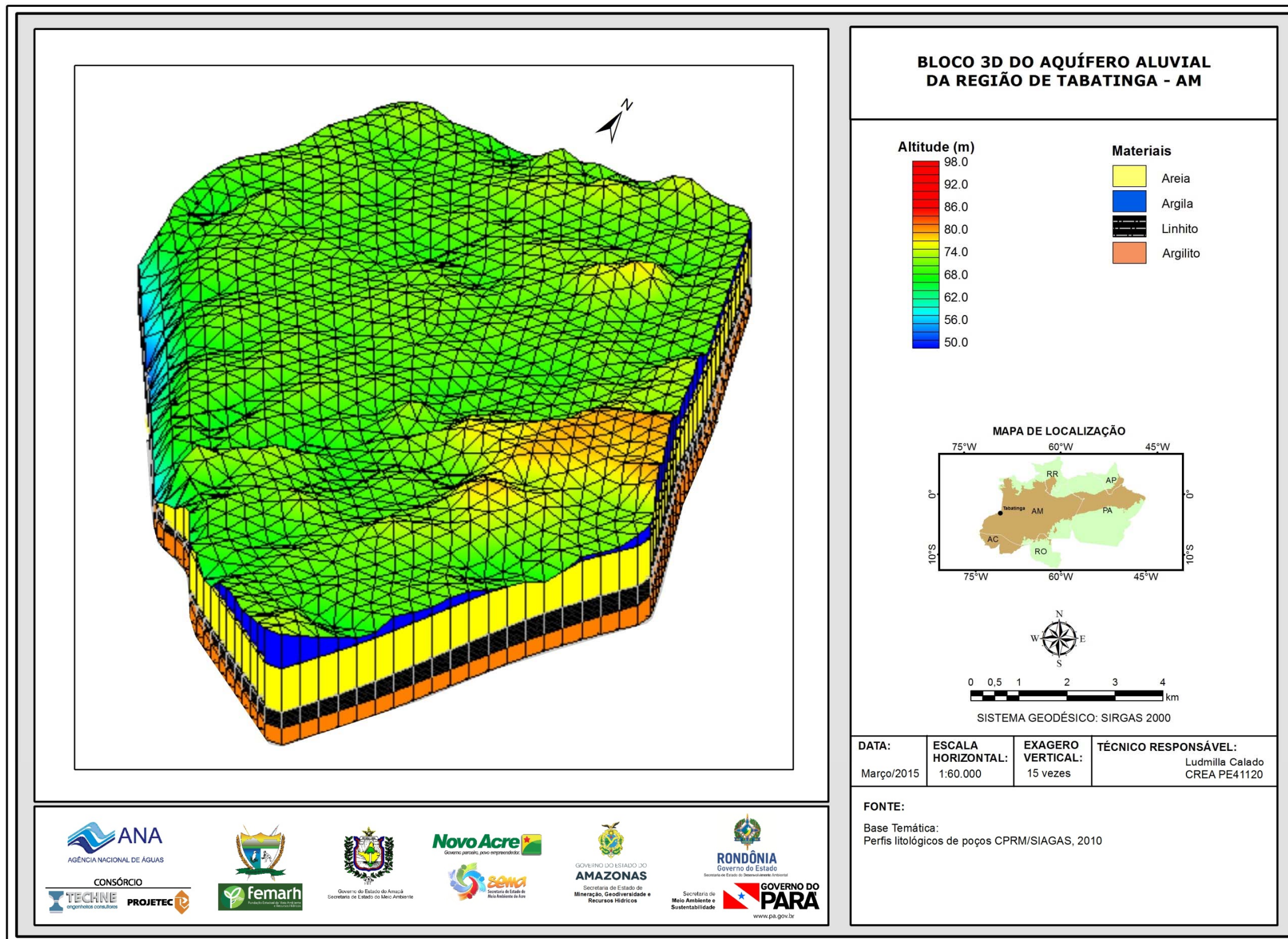


Figura 4.2 - Bloco 3D do modelo litoestratigráfico do pacote aluvionar mostrando a camada de areia aquífera na cidade de Tabatinga – AM.

4.2.2 – Propriedades Hidráulicas

As propriedades hidráulicas do aquífero Aluvial em Tabatinga - AM foram avaliadas através de testes de bombeamento conduzidos no âmbito do Projeto ANA-PHA.

Considerações sobre a Condutividade Hidráulica dos Aquíferos

Para auxiliar na compreensão do significado dos valores de condutividade hidráulica determinados nos testes de aquífero realizados em Tabatinga e também dos valores conhecidos da literatura e apresentados neste relatório, a **tabela 4.3** (Fetter, 1994) indica a natureza litológica dos materiais geológicos esperados, de acordo com a magnitude dos valores desse parâmetro.

Tabela 4.3 – Faixa de valores de condutividade hidráulica em depósitos inconsolidados de natureza análoga à do aquífero Aluvial em m/s e m/dia (Adaptado de Fetter, 1994).

Depósitos Inconsolidados	Condutividade Hidráulica	
	m/s	m/dia
Cascalho	10^{-4} a 10^{-2}	$8,6 \times 10^0$ a $8,6 \times 10^2$
Areias bem selecionadas	10^{-5} a 10^{-3}	$8,6 \times 10^{-1}$ a $8,6 \times 10^1$
Areias siltozas, areias finas	10^{-7} a 10^{-5}	$8,6 \times 10^{-3}$ a $8,6 \times 10^{-1}$
Siltos, areias siltozas, areias argilosas	10^{-8} a 10^{-6}	$8,6 \times 10^{-4}$ a $8,6 \times 10^{-2}$
Argilas	10^{-11} a 10^{-8}	$8,6 \times 10^{-7}$ a $8,6 \times 10^{-4}$

4.2.2.1 – Execução de Testes de Bombeamento

A realização de testes de bombeamento, ou mais adequadamente denominados de testes de aquífero, tem por objetivo fundamental a obtenção dos valores dos coeficientes de transmissividade, de condutividade hidráulica e de armazenamento, parâmetros hidrodinâmicos de fundamental importância para posterior avaliação das reservas hídricas acumuladas no aquífero.

Esses testes devem ser realizados por pessoal técnico que possua amplo conhecimento hidrogeológico, pois de um teste bem executado podem resultar valores confiáveis na sua interpretação, uma vez que durante a realização do trabalho de campo é comum ocorrer problemas que o leigo não tem condições de resolver a contento.

Foi com esse espírito e essa preocupação que os testes de aquífero na região amazônica, objeto do presente trabalho, foram executados no campo por toda a equipe técnica sênior alocada ao projeto, visando obter os melhores resultados possíveis.

Os testes de bombeamento, numa classificação mais ampla, podem ser divididos em: testes de aquífero e testes de produção.

Os testes de aquífero consistem no bombeamento de um poço com uma vazão constante (ou estabilizada ao longo do teste) e, sempre que possível, no acompanhamento da evolução dos rebaixamentos produzidos em um ou mais poços de observação. Quando inexitem poços de observação ou piezômetros, o coeficiente de armazenamento pode ser avaliado de forma aproximada supondo que o raio do poço é infinitamente pequeno. Com essa hipótese o armazenamento no poço se torna desprezível e o armazenamento do aquífero

pode ser estimado a certa distância, por exemplo, 10 m, ou seja, nas proximidades imediatas do poço para permitir o uso dos dados do poço bombeado como se fossem de um poço de observação a essa distância se a ordem de grandeza do resultado for consistente com o modelo de aquífero adotado.

No caso específico do estudo de Tabatinga, 2 (dois) testes de bombeamento foram realizados no aquífero Aluvial (**anexo 7.1**), usando os poços TBT16 (S4165) e TBT17 (S4179), sem utilização de poços de observação. A escolha desses poços, localizados na **figura 4.3**, foi feita porque a equipe de campo contou com a boa vontade dos proprietários e ainda por estarem os poços devidamente equipados e em boas condições para teste. As medições de nível dinâmico foram executadas com uma sonda elétrica sonora e as medições de vazão através de método volumétrico. De acordo com as planilhas dos testes de bombeamento realizados em Tabatinga (**anexos 7.1.1.1 e 7.1.2.1**), os dados dos poços testados são os indicados na **tabela 4.4**. Em consonância com as dimensões indicadas na **tabela 4.2** para os poços testados no aquífero Aluvial e na falta dos perfis específicos, considera-se na interpretação dos testes uma espessura saturada de 15 m e extensões de 8 m de filtros.

Tabela 4.4 – Características dos poços utilizados nos testes de bombeamento realizados no aquífero Aluvial da cidade de Tabatinga – AM.

Ponto	UTM (E)	UTM (N)	Profundidade (m)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Observação
TBT16	395330	9351874	22	9,74	11,74	1,2	SIAGAS S4165
TBT17	395591	9351236	18	8,85	9,59	1,3	SIAGAS S4179

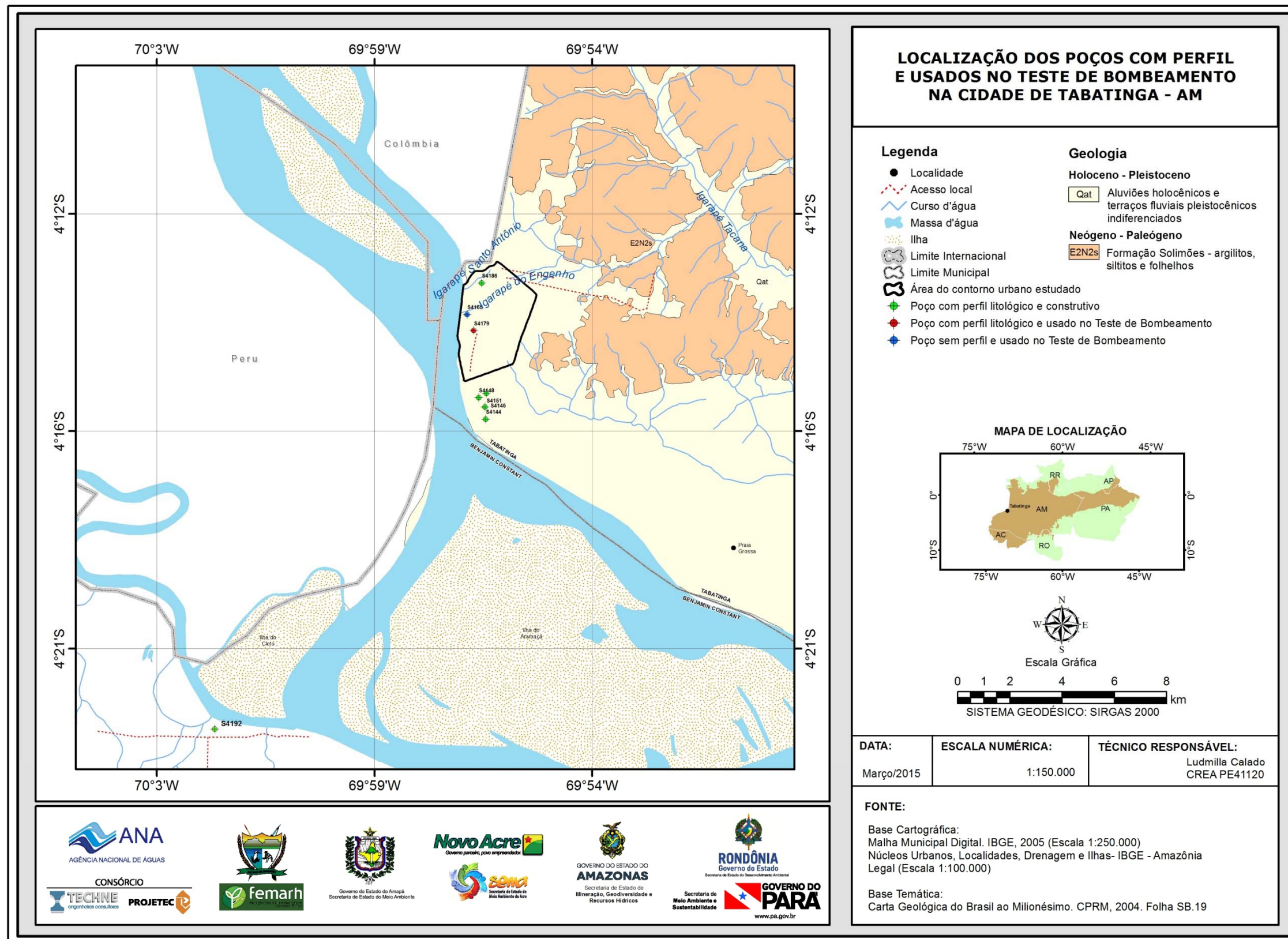


Figura 4.3 – Localização de poços produtores com perfil e de poços usados nos testes de bombeamento realizados no aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM.

4.2.2.2 – Interpretação dos Testes de Bombeamento

Dois métodos foram utilizados na interpretação dos testes de bombeamento realizados na cidade de Tabatinga - AM:

- O primeiro foi o semilogarítmico de Cooper & Jacob (1946) previsto para aquífero confinado, homogêneo e isotrópico;
- O segundo é o método de Neuman (1975), previsto para aquífero livre, homogêneo e anisotrópico, cuja aplicação se tornou indispensável por razões diversas, dentre elas, em particular, a necessidade de conhecer a porosidade efetiva. Outras razões que justificam esse método como o mais apropriado para o aquífero Aluvial, em Tabatinga, incluem a observação de que nas curvas semilogarítmicas de rebaixamento x tempo registradas nos testes realizados no âmbito do projeto PHA os trechos terminais exibem um desvio da reta logarítmica transiente para cima (**figura 4.4**), quando o comportamento normal seria o desvio para baixo, no modelo de Cooper & Jacob (1946), a menos que houvesse interferência de outros poços em bombeamento, o que não é o caso.

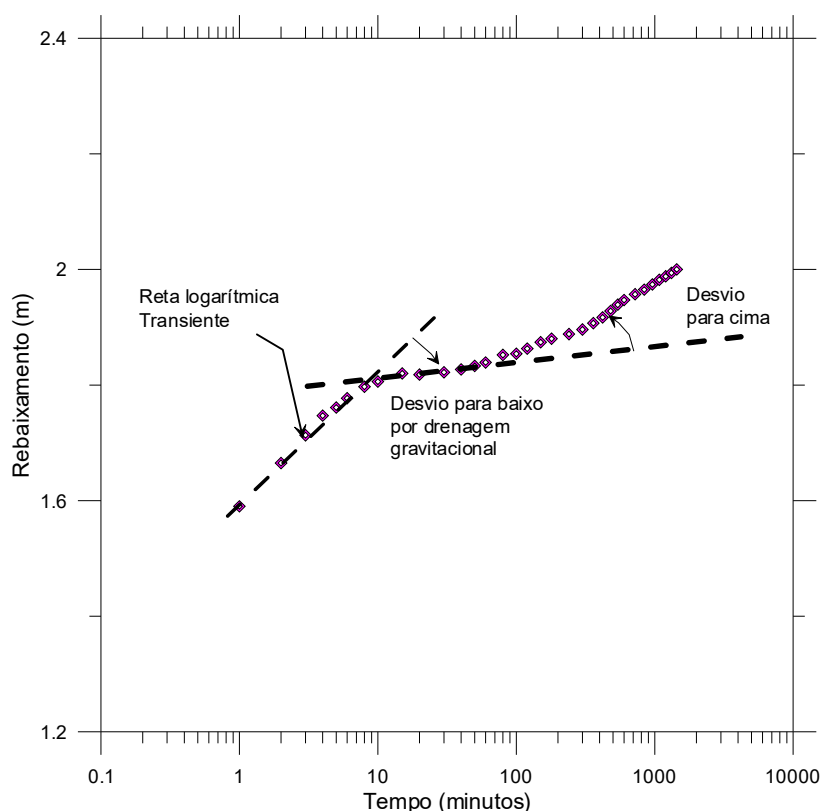


Figura 4.4 – Curva de rebaixamento x tempo no teste do poço TBT16 realizado no aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM, mostrando o desvio da reta logarítmica para cima, indicativo do final da drenagem gravitacional retardada.

Método Semilogarítmico de Cooper & Jacob (1946)

Como os testes de bombeamento foram essencialmente de produção, conforme especificado nos TDRs, o procedimento preferencial de análise empregado foi o método aproximativo de Jacob (forma aproximada da **equação 4.1** de Theis), segundo Manoel Filho (2007), que o aplicou usando o *software Grapher*. No presente trabalho, o referido método é a seguir descrito, e a sua aplicação feita através de planilha *Excel*.

$$\text{Equação do rebaixamento: } s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \text{ sendo } u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (4.1)$$

Parâmetros:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad (4.1a)$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2} \quad (4.1b)$$

Cooper & Jacob (1946) mostraram que para valores de $u < 0,01$ ou $1/u > 100$, a função do poço $W(u) \approx -0,5772 - \ln u$. Esta é a chamada aproximação logarítmica da função de Theis, ilustrada na **figura 4.5**.

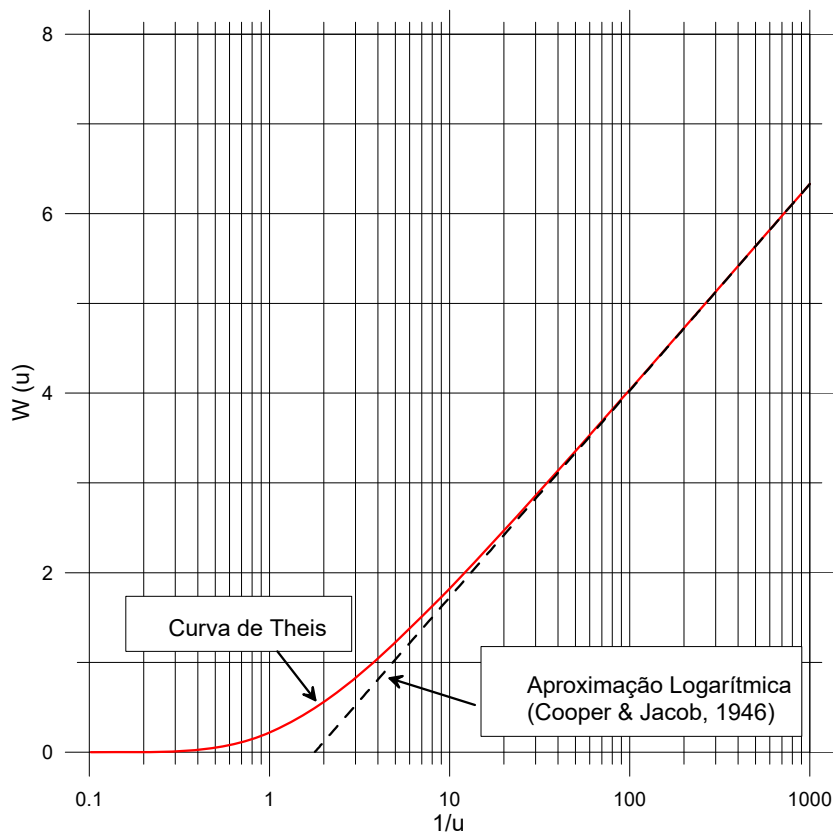


Figura 4.5 – Ilustração gráfica da aproximação logarítmica da função $W(u)$ (Cooper & Jacob, 1946).

Substituindo a aproximação logarítmica na **equação (4.1)** obtém-se a **equação (4.2)** de Jacob.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25Tt}{r^2 S}\right) \quad (4.2)$$

Essa equação pode ser escrita sob a forma:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln(t) + \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25T}{r^2 S}\right) \quad (4.3)$$

ou ainda sob a forma mais simples:

$$s = M \ln(t) + N \quad (4.4)$$

A declividade da reta logarítmica decimal (**equações 4.2 e 4.3**) é dada por:

$$M = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{\ln t_2 - \ln t_1} = \frac{Q}{4\pi T} \quad (4.5)$$

Comparando então as **equações (4.3) e (4.4)**, tem-se:

$$M = \frac{Q}{4\pi T} \quad ; \quad N = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25T}{r^2 S}\right) \quad (4.6)$$

Por outro lado, a **equação (4.2)** permite verificar que o rebaixamento $s=0$ ocorre em um instante t_0 tal que:

$$\frac{2,25Tt_0}{r^2 S} = 1 \quad \text{e portanto,} \quad S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad (4.7)$$

Como os valores dos parâmetros $M \left[\frac{m}{\min} \right]$ e $N[m]$ são obtidos automaticamente no ajuste feito no computador, o valor de t_0 pode ser deduzido da **equação (4.3)**, expressa sob a forma:

$$0 = M \ln t_0 + N \quad \Rightarrow \quad M \ln t_0 = -N \quad \Rightarrow \quad t_0 = \exp\left(-\frac{N}{M}\right) \quad (4.8)$$

Esses resultados conduzem finalmente às seguintes equações e parâmetros:

Equação do rebaixamento:	$s(t) = M \ln(t) + N$	(4.9)
Parâmetros: $M = \left[\frac{\Delta s}{2,303 \log(\Delta t)} \right]$	$\Rightarrow \Delta s = 2,303M$	
	$T = \frac{0,183Q}{\Delta s}$	(4.10)
	$S = \frac{2,25 T \times 60 \times \exp\left(-\frac{N}{M}\right)}{r^2}$	(4.11)

Nas **equações 4.1, 4.1a e 4.1b**, bem como nas **equações 4.2 a 4.11**, os significados dos símbolos utilizados são os seguintes:

- ✓ $s = s(r, t)$ = rebaixamento no ponto situado à distância r , do poço de bombeamento, no instante t após o início do bombeamento [L];
- ✓ Q = vazão bombeada do poço [L³/T];
- ✓ T = coeficiente de transmissividade do aquífero [L²/T];
- ✓ S = coeficiente de armazenamento do aquífero [];
- ✓ $W(u)$ = função do poço para aquífero confinado ou função de Theis;
- ✓ u = argumento da função do poço;
- ✓ M = coeficiente angular ou declividade da reta logarítmica decimal (**equação 4.4**);
- ✓ N = coeficiente linear ou ordenada na origem da reta logarítmica decimal (**equação 4.4**);
- ✓ $\Delta s = s_2 - s_1$ = variação do rebaixamento entre dois instantes, no intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$;
- ✓ t_0 = tempo medido sobre o eixo das abscissas no ponto de rebaixamento $s = 0$.

Metodologia de execução

- Medir no poço bombeado a variação do rebaixamento com o tempo e gravar os resultados em um arquivo de planilha com extensão compatível com o *software* (.dat, .xls, etc);
- Construir um gráfico monolog de rebaixamento versus tempo e nele efetuar um ajuste logarítmico, para obter a reta $s = Mn(t) + N$ (**equação 4.9**);
- Calcular os parâmetros do aquífero, usando as **equações (4.10) e (4.11)**.

Em Tabatinga os testes foram realizados sem poço de observação e, portanto, o procedimento é aplicável ao poço bombeado suposto de raio desprezível e calculando o coeficiente de armazenamento a uma distância $r = 10$ m

No **anexo 7.1** são encontradas, para cada teste, as planilhas de dados de rebaixamento e recuperação, os gráficos e os parâmetros hidráulicos obtidos.

Método de Neuman (1975)

Nas curvas semilog de rebaixamento x tempo registradas nos testes realizados em Tabatinga o efeito observado na **figura 4.5** é interpretado como de drenagem gravitacional retardada que permite classificar o aquífero Aluvial, em Tabatinga (usando o modelo de Neuman, 1975), como LIVRE, HOMOGÊNIO E ANISOTRÓPICO. Isso é plenamente justificável porque em ambos os testes o nível estático já se encontrava dentro da camada de areia. Além disso, pode ser visto na **figura 4.6a** que a família de curvas padrão Tipo A de Neuman para tempos curtos se desvia da curva de Theis quando começa a drenagem gravitacional, e para tempos longos, assume o padrão Tipo B e quando cessa a

drenagem gravitacional, tende para a curva de Theis, como mostrado na **figura 4.6b**, usando como exemplo a curva de rebaixamento do poço TBT16 (S4165).

Também nesse caso, incluindo a estimativa do coeficiente de armazenamento S para uma distância r igual à espessura do aquífero (por falta de poço de observação), a avaliação dos parâmetros hidráulicos foi feita, usando-se o *software Grapher* pelo método clássico de superposição, envolvendo os seguintes passos:

- 1) Construção, em gráfico dilog, das famílias de curvas padrão de Neuman (Tipo A e Tipo B) de rebaixamento adimensional S_D em função dos tempos adimensionais t_s e t_y como descrito em Batu (1998), para uma faixa de valores práticos do fator de drenagem gravitacional β , como os usados nas **figuras 4.6a e 4.6b**;
- 2) Construção, em gráfico dilog, da curva de rebaixamento x tempo, com os dados medidos no campo, sobre o gráfico da família de curvas (Tipo A e Tipo B) padrão de Neuman;
- 3) Selecionar e arrastar o gráfico de campo sobre o gráfico das curvas padrão até encontrar a curva padrão dilog Tipo A, que melhor se ajusta ao trecho inicial da curva de campo;
- 4) Escolher um ponto arbitrário sobre os gráficos superpostos na posição em que se encontram, anotar o valor de β e fazer a leitura dos valores das coordenadas s e S_D nos eixos verticais e de t e t_s nos eixos horizontais;
- 5) Repetir os passos 3 e 4 arrastando sobre as curvas padrão Tipo B, o trecho final da curva de campo até obter o melhor ajuste e sobre o ponto arbitrário escolhido anotar o valor de β e os valores das coordenadas s e S_D nos eixos verticais das coordenadas t e t_y nos eixos horizontais;
- 6) Com os valores conhecidos de Q , s e S_D calcular a transmissividade do aquífero usando a **equação (4.12)**:

$$T = \frac{Q S_D}{4\pi s} \quad (4.12)$$

- 7) Usando a transmissividade e a espessura do aquífero, calcular a condutividade hidráulica horizontal por meio da **equação (4.13)**.

$$K_h = \frac{T}{b} \quad (4.13)$$

8) Avaliar o grau de anisotropia a partir da **equação (4.14)**:

$$K_D = \beta \left(\frac{b}{r} \right)^2 = \frac{K_v}{K_h} \quad (4.14)$$

9) Avaliar o coeficiente de armazenamento através da **equação (4.15)**:

$$S = \frac{Tt}{t_s r^2} \quad (4.15)$$

10) Avaliar a porosidade efetiva por meio da **equação (4.16)**:

$$S_y = \frac{Tt}{t_y r^2} \quad (4.16)$$

Nas **equações 4.12 a 4.16**, os significados dos símbolos utilizados são os seguintes:

- ✓ S_D = rebaixamento adimensional [];
- ✓ b = espessura do aquífero totalmente penetrante (zona de admissão de água do poço) [L];
- ✓ K_h = condutividade hidráulica horizontal [L/T];
- ✓ K_v = condutividade hidráulica vertical [L/T];
- ✓ t_s = tempo adimensional curto [];
- ✓ t_y = tempo adimensional longo [];
- ✓ β = fator adimensional de drenagem retardada [];
- ✓ K_D = razão de anisotropia [];
- ✓ S_y = porosidade efetiva [] .

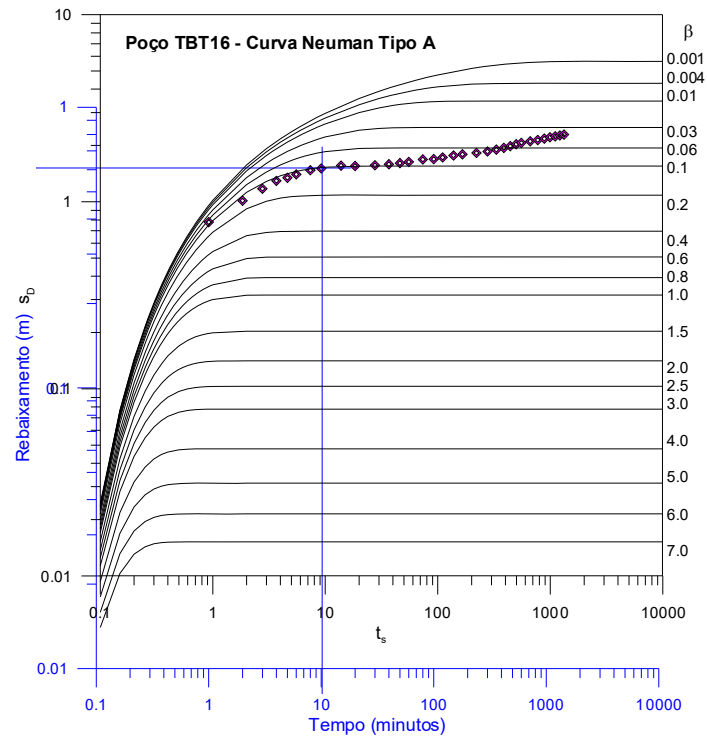


Figura 4.6a – Família de curvas padrão Tipo A de Neuman (1975) para tempos curtos, mostrando, com o exemplo do teste do poço TBT16 ajustado na curva $\beta=0.1$, que o rebaixamento não estabiliza, mas se desvia para tempos longos (quando cessa o efeito da drenagem gravitacional) e tende para a curva de Theis.

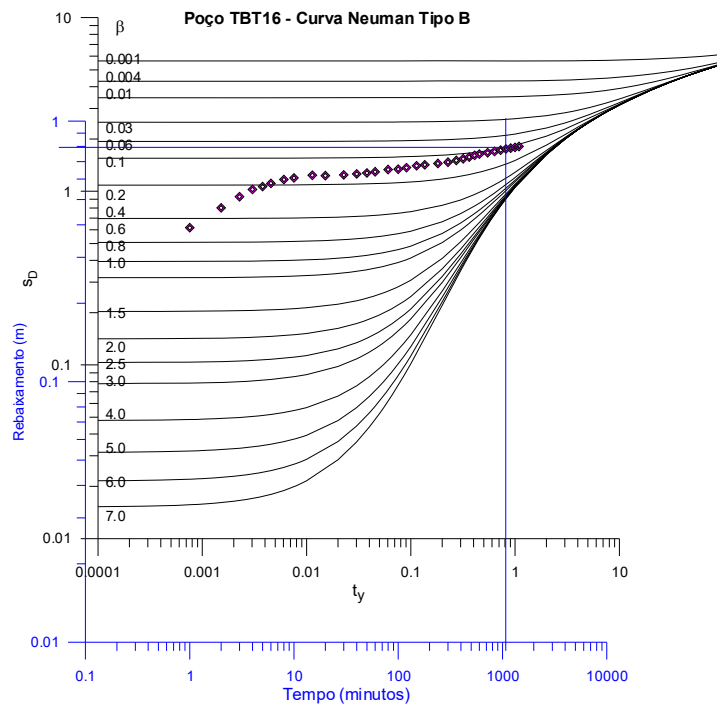


Figura 4.6b – Família de curvas padrão Tipo B de Neuman (1975) para tempos curtos, mostrando, (com o exemplo do teste do poço TBT16 ajustado na curva $\beta=0.1$), que o rebaixamento não estabiliza, mas se desvia para tempos longos (quando cessa o efeito da drenagem gravitacional) e tende para a curva de Theis.

4.2.2.3 - Parâmetros Hidráulicos Obtidos

Método Semilogarítmico de Cooper & Jacob

Esse método foi inicialmente aplicado supondo o aquífero confinado. Nessa condição os valores médios das propriedades hidráulicas avaliadas (**anexo 7.1**) são apresentados na **tabela 4.5**.

Tabela 4.5 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método semilogarítmico de Jacob para o aquífero “confinado” aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.

Código	UF	Local	UTM (E)	UTM (N)	Aquífero	T (m ² /dia)	K (m/dia)	S (adim)
TBT16	AM	Porto Fluvial de Tabatinga	395330	9351874	Aluvial	57,1	2,60	1,6E-03
TBT17	AM	Bairro Brilhante	395591	9351236	Aluvial	148,8	6,76	5,6E-03
Média						102,5	4,68	3,6E-03

T = transmissividade; K = Condutividade hidráulica; S = coeficiente de armazenamento.

Os valores de condutividade hidráulica (K) foram, respectivamente, de 2,60 m/dia no poço TBT16 e de 6,76 m/dia no poço TBT17, um valor 2,6 vezes maior. Ambos são valores altos e típicos de material permeável, resultando numa média de 4,68 m/dia, indicativa de areias bem selecionadas, que se enquadram na faixa de 0,86 a 86 m/dia (**tabela 4.2**). Contudo, a estimativa desse valor médio supõe que toda a água bombeada foi liberada do armazenamento por descompressão do “aquífero confinado”, quando na verdade parte dessa água resultou de drenagem gravitacional indicativa de que o aquífero é do tipo livre. Portanto, o valor da condutividade hidráulica avaliado por esse procedimento é superestimado.

O coeficiente de transmissividade (T) que é linearmente dependente da condutividade hidráulica (K), a exemplo da mesma, também apresenta variação de 2,6 vezes, ou seja, varia de 57,1 a 148,8 m²/dia e, portanto, também está superestimado.

O coeficiente de armazenamento (S) apresentou valores compreendidos entre 1,6E-03 e 5,6E-03, indicativos de aquífero pouco confinado ou semiconfinado. Esses valores foram estimados de forma aproximada para r = 1 m na falta de poço de observação, mas são julgados possíveis com o modelo adotado de Cooper & Jacob (1946) e deles resulta um valor médio de 3,6E-03, indicativo de um confinamento muito fraco.

Seja como for, a hipótese inicialmente adotada de aquífero confinado em Tabatinga, usando o método de Cooper & Jacob (1946), forneceu valores superestimados e, sobretudo, discrepantes dos parâmetros hidráulicos de transporte (T, K) e leva a concluir que esse método não é apropriado para o caso, daí resultando a necessidade de uma reavaliação desses parâmetros por outro método, mais condizente com a hipótese de aquífero livre, pelas razões anteriormente já enumeradas.

Parâmetros Obtidos pelo Método de Neuman (1975)

As características dos poços testados em Tabatinga foram vistas na **tabela 4.3** e os dados das medições nas planilhas podem ser vistos nos **anexos 7.1.1.1 e 7.1.2.1**.

A síntese dos parâmetros hidráulicos obtidos para o aquífero Aluvial, em Tabatinga nos testes realizados e reavaliados pelo método de Neuman (1975), supondo o aquífero livre com espessura saturada de 15 m é apresentada na **tabela 4.6**. Eles incluem as propriedades fundamentais referentes à espessura do aquífero (**item 4.1.1**) e aos parâmetros de transporte e armazenamento (para $r = 10\text{ m}$) têm-se:

Tabela 4.6 – Síntese dos parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.

Aquífero	b (m)	Kh (m/dia)	Kv (m/dia)	T (m ² /dia)	S	Sy
UHF do Pacote Aluvial	15	0,76	0,17	6,07	2,8E-05	0,12

b = Espessura saturada; Kh = condutividade hidráulica horizontal; Kv = condutividade hidráulica vertical; T = transmissividade; S = coeficiente de armazenamento; Sy = porosidade efetiva.

4.2.2.4 – Conclusões sobre os Resultados Obtidos

Os testes de bombeamento realizados em Tabatinga foram inicialmente interpretados pelo método de Cooper & Jacob (1946), supondo o aquífero **confinado**, como à primeira vista se poderia supor com base nos perfis litológicos mostrados nas **figuras 3.4 e 3.5**.

Contudo, foi possível concluir a partir do gráfico semilogarítmico de rebaixamento *versus* tempo, mostrado na **figura 4.3**, que existe um efeito de drenagem gravitacional característico de aquífero livre. Isso revelou a necessidade de reavaliar os parâmetros hidráulicos pelo método de Neuman (1975), supondo o aquífero livre, homogêneo e anisotrópico. A **tabela 4.7** contém os resultados encontrados por esse novo método.

Tabela 4.7 – Parâmetros hidráulicos avaliados pelo método de Neuman (1975) para o aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.

TESTE	Curva Tipo	T m ² /dia	b (m)	K (m/dia)	β	r (m)	S	Sy	KD
TBT16	A	6,11	15	0,76	0,1	10	2,8E-05	-	0,225
	B	5,89	15	0,74	0,1	10	-	0,05	0,225
Média TBT16		6,00	15	0,75	0,1	10	2,8E-05	0,05	0,225
TBT17	A	6,62	15	0,83	0,1		2,7E-05	-	0,225
	B	5,67	15	0,71	0,1		-	0,20	0,225
Média TBT17		6,15	15	0,77	0,1	10	2,7E-05	0,20	0,225
Aquífero		6,1	15	0,76	0,1	10	2,75E-05	0,125	0,225

T = transmissividade do aquífero; b = espessura saturada do aquífero; K = condutividade hidráulica do aquífero; β = fator de drenagem retardada; r = distância simulada para estimativa do coeficiente de armazenamento (S) e da porosidade efetiva (Sy); KD = fator de anisotropia.

Os valores dos parâmetros hidráulicos de transporte (T, K) avaliados nos dois poços testados são muito próximos e não apresentam diferenças significativas. O coeficiente de armazenamento também apresentou valores muito próximos em ambos os poços. Somente a porosidade efetiva apresentou uma diferença de 4 vezes entre os valores estimados nos dois testes (5% e 20%, respectivamente, com média de 12,5%). Todavia, tais valores estão dentro dos limites esperados para o tipo de aquífero.

Para um funcionamento correto dos poços do aquífero Aluvial, em Tabatinga, o rebaixamento máximo permissível, incluindo interferências, é de 25% da espessura saturada. Dessa forma, em termos práticos, pode-se ter uma ideia da magnitude dos parâmetros hidráulicos (se são altos ou baixos e por que razão) avaliando a capacidade máxima de produção esperada para um poço em regime de funcionamento sustentável.

Admitindo um poço de 6" (152 mm), com 20 m de profundidade em regime estacionário, com raio de influência de 100 m, a vazão pode ser avaliada através da fórmula de Dupuit (**equação 4.17**), na qual o significado dos parâmetros hidráulicos utilizados é o seguinte:

h_0 = espessura inicial do aquífero no poço (= 15 m);

h_p = espessura saturada dentro do poço em bombeamento e em regime estacionário (= 11,25 m);

r_0 = raio de influência do poço em bombeamento (= 100 m);

r_p = raio do poço bombeado (= 0,0762 m).

$$Q = \pi K \frac{(h_0^2 - h_p^2)}{\ln\left(\frac{r_0}{r_p}\right)} = 0,76\pi \times \frac{15^2 - 11,25^2}{\ln\left(\frac{100}{0,0762}\right)} \cong 14 \text{ m}^3 / \text{dia} \quad (4.17)$$

Mesmo sem incluir as interferências, a baixa capacidade de produção individual de poços em regime de equilíbrio no aquífero Aluvial, em Tabatinga sugere que a exploração dessa camada aquífera por empresa concessionária de abastecimento público é inviável. Contudo, os aproveitamentos domésticos individuais, durante poucas horas por dia, são tecnicamente viáveis da forma como já vem sendo praticados, mas não devem continuar se realizando através de poços mal construídos e sem a devida proteção sanitária, sob pena de afetar a saúde da população de usuários.

4.2.3 – Recarga e Descarga de Água Subterrânea

4.2.3.1 – Variações de Nível Estático

A profundidade do nível estático do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga foi monitorada durante as campanhas de campo em abril e outubro de 2012 nos poços da rede de monitoramento implantada na área de estudo. Os resultados indicaram que no período chuvoso a profundidade das águas subterrâneas oscilou entre 1,69 e 6,90 m (**tabela 4.8**), com média de 4,72 m, enquanto que no período de estiagem a oscilação dos valores medidos foi de 3,65 a 12,21 m, com média de 6,33 m. Globalmente, entre as duas campanhas de medição de níveis, a variação média sazonal entre abril de 2012 e outubro de 2012 foi de 1,61 m, como pode ser visto na **tabela 4.8**.

Usando ainda as cotas deduzidas do modelo digital do terreno (**tabela 4.8**), foram elaborados para o Aquífero Aluvial os mapas de profundidade dos níveis das águas subterrâneas e de potenciometria no período chuvoso e no período de estiagem.

A distribuição espacial da profundidade das águas subterrâneas na cidade de Tabatinga foi representada em 3 (três) faixas: de 0 a 4 m, de 4 a 6 m e acima de 6 m. A medição realizada no período chuvoso (abril de 2012), ilustrada na **figura 4.7a**, mostra que os níveis estáticos do aquífero Aluvial tem maior frequência nas duas primeiras faixas de valores. No período de estiagem (outubro de 2012), observa-se uma configuração bem semelhante à que foi apresentada no período chuvoso, registrando-se apenas uma diferença mais significativa para valores compreendidos na faixa superior a 6 m, que se distribui de maneira mais ampla na área de estudo (**figura 4.7b**).

Tabela 4.8 – Variação de níveis estáticos e de cotas potenciométricas nos poços de Tabatinga no aquífero Aluvial, no período chuvoso (abril de 2012) e no período de estiagem (outubro de 2012).

Poço	Ponto	Coordenadas		Cota Terreno (m)	1ª Campanha - Abril de 2012		2ª Campanha - Outubro de 2012		Diferença da 1ª para a 2ª Campanha
		UTM (E)	UTM (N)		Prof. NE (m)	Cota NE (m)	Prof. NE (m)	Cota NE (m)	
TBT01	1300004175	396667	9533479	79	3,35	75,65	3,70	75,30	0,35
TBT02	TB015	397061	9533283	81	4,34	76,66	5,20	75,80	0,86
TBT03	TB022	397406	9532402	81	1,69	79,31	3,97	77,03	2,28
TBT04	1300004191	395588	9531249	78	6,87	71,13	9,68	68,32	2,81
TBT05	1300004165	396142	9531711	80	5,48	74,52	5,96	74,04	0,48
TBT06	1300004176	395341	9531863	78	6,90	71,10	12,21	65,79	5,31
TBT07	1300004179	395618	9532386	79	4,49	74,51	8,04	70,96	3,55
TBT08	1300004183	397018	9531535	79	3,77	75,23	3,89	75,11	0,12
TBT09	TB032	396973	9532743	79	3,57	75,43	3,65	75,35	0,08
TBT10	1300004182	397007	9531927	79	3,26	75,74	3,72	75,28	0,46
TBT11	1300004159	395949	9533177	78	6,23	71,77	7,63	70,37	1,40
TBT12	1300000425	396018	9532724	80	4,87	75,13	5,85	74,15	0,98
TBT13	1300000429	395290	9529568	79	5,94	73,06	7,46	71,54	1,52
TBT14	1300004189	395835	9530605	80	3,26	76,74	6,28	73,72	3,02
TBT15	1300004167	395978	9532062	80	6,78	73,22	7,78	72,22	1,00
Média					4,72	-	6,33	-	1,61

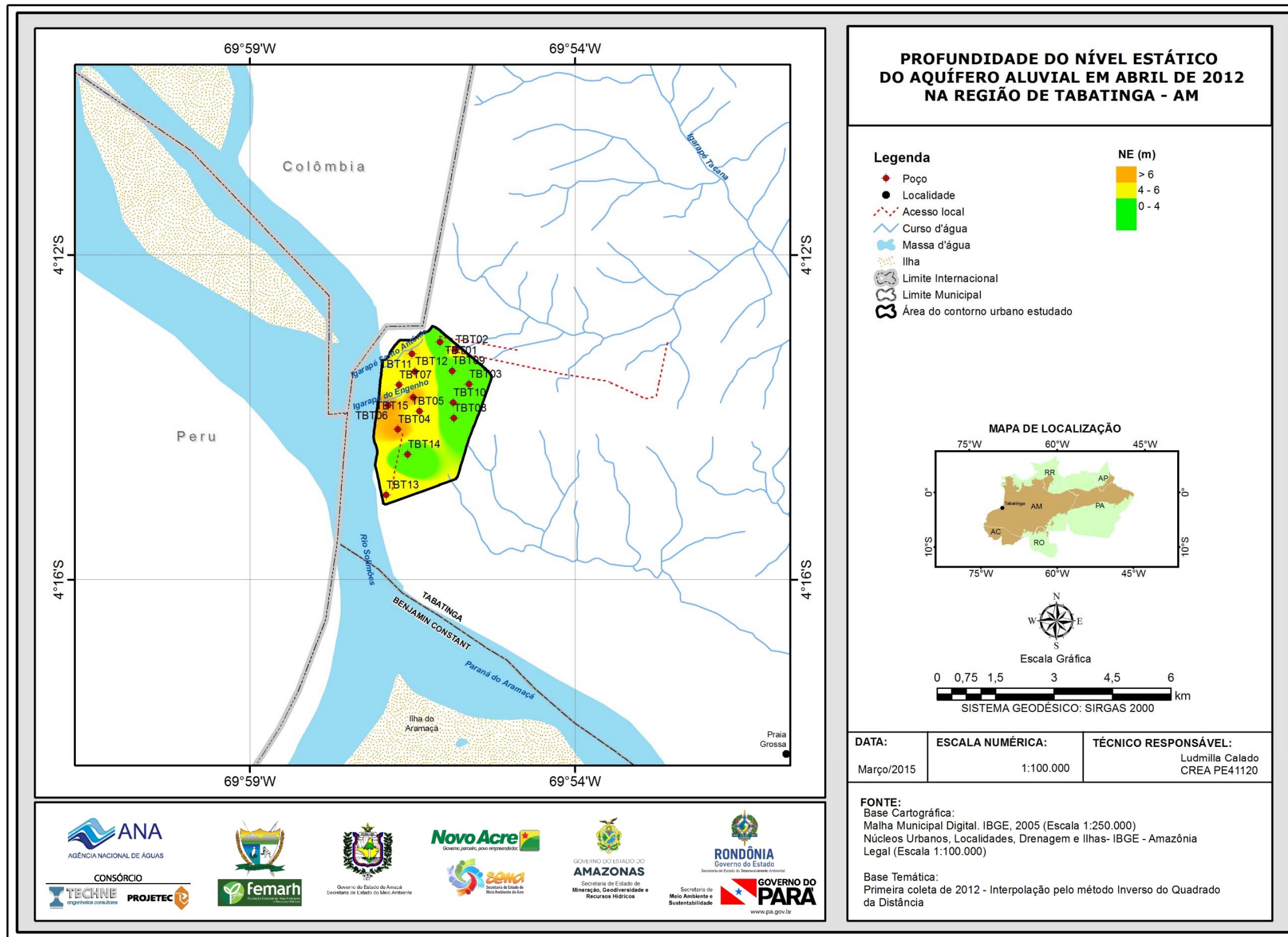


Figura 4.7a – Profundidade do nível estático das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012 na cidade de Tabatinga - AM.

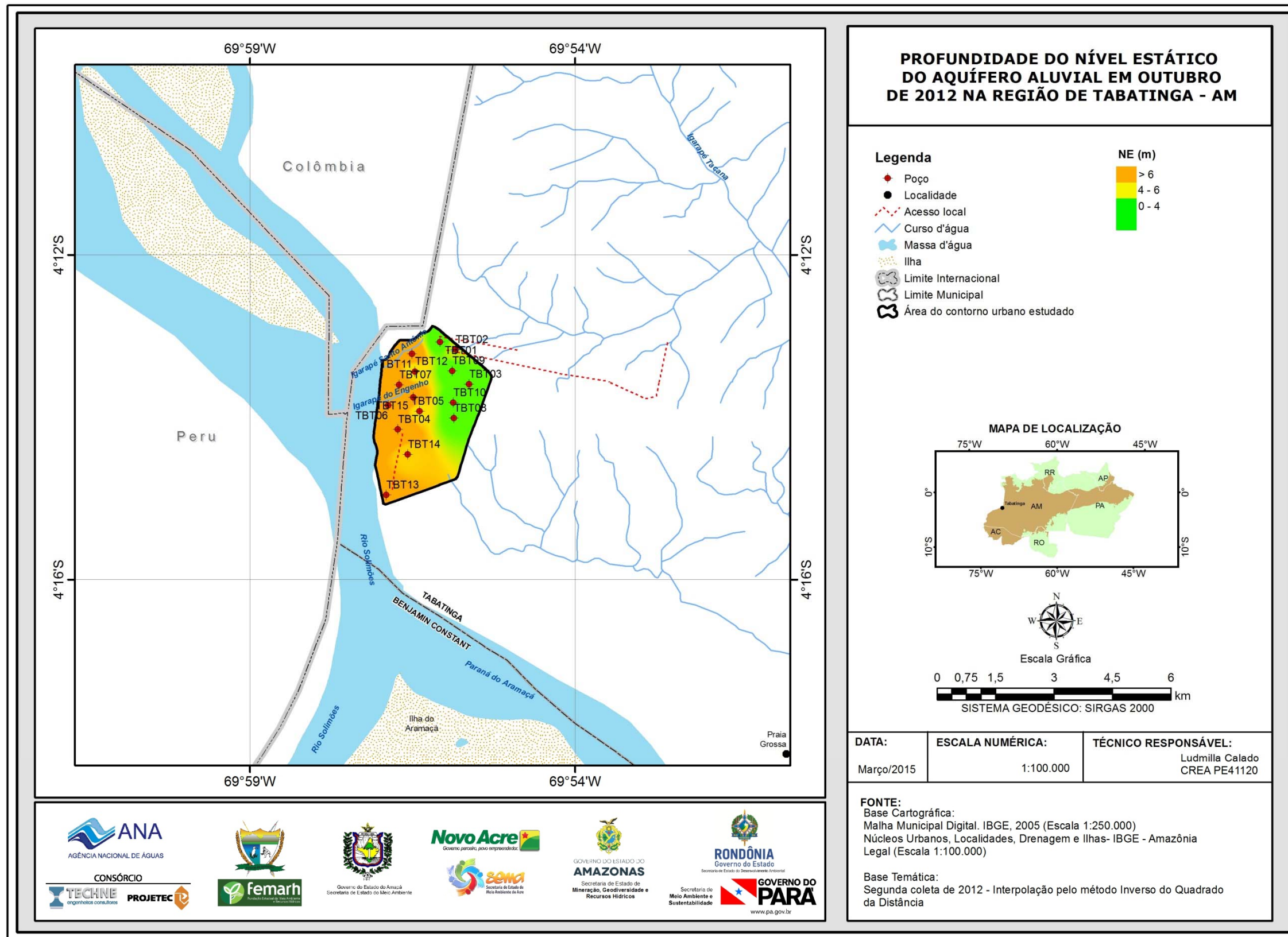


Figura 4.7b – Profundidade do nível estático das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012 na cidade de Tabatinga - AM.

4.2.3.2 – Variações de Cotas Potenciométricas

Na região de Tabatinga, na área de estudo, ou mais precisamente na área urbana onde foram realizadas as duas campanhas de medição de níveis, a variação média sazonal entre abril de 2012 e outubro de 2012 foi de 1,61 m como já visto na **tabela 4.7**.

4.2.4 – Escoamento e Exutórios

O escoamento subterrâneo da camada aquífera em Tabatinga tem ligação com o rio Solimões e também é influenciado pela rede de poços existentes em exploração.

Campanha de abril de 2012

No final do período chuvoso em abril de 2012, de acordo com as linhas potenciométricas do mapa hidrogeológico da **figura 4.8a**, as águas subterrâneas escoam de oeste para leste em direção ao rio Solimões. A **tabela 4.9** mostra que o fluxo se realiza ao longo de uma frente de 6,17 km de largura, com gradiente hidráulico variável de 1,8 a 5 m/km, médio de 3,2 m/km, produzindo para uma transmissividade de $7,03E-05$ m²/s (6,07 m²/dia) uma descarga de apenas 1,4 L/s.

Tabela 4.9 – Frente W de escoamento natural do aquífero Aluvial de Tabatinga, em direção ao rio Solimões, no período chuvoso (abril de 2012).

Largura (m)	dW1	dW2	dW3	dW4	dw5	dw6	W
Equipotencial E75	781	797	1290	741	872	884	-
Equipotencial E74	687	2333	1257	292	1128	1282	-
dW médio (m)	734	1565	1273,5	516,5	1000	1083	6172
Comprimento (m)	dL1	dL2	dL3	dL4	dL5	dL6	W
Entre E75 e E74	213	567	500	322	201	343	-
dh (m)	1	1	1	1	1	1	-
dh/dL	0,004695	0,001763668	0,002	0,00310559	0,004975124	0,00292	0,003242
dh/dL (m/km)	4,7	1,8	2,0	3,1	5,0	2,9	3,2
T x dh/dLxW	2,39E-04	1,92E-04	1,77E-04	1,11E-04	3,45E-04	2,19E-04	1,4E-03

Campanha de outubro de 2012

No período de estiagem em outubro de 2012, como mostra a **figura 4.8b**, o comportamento do fluxo subterrâneo se mantém similar ao do final do período chuvoso. A frente de escoamento W, entre as equipotenciais de 75 e 74 m, tem largura aproximada de 5,8 km (**tabela 4.10**). O gradiente hidráulico, um pouco mais intenso do que no período chuvoso, varia de 1,6 a 6,5 m/km, com média de 4,9 m/km.

Para a transmissividade média de $7,03E-05$ m²/s (6,07 m²/dia), a vazão de escoamento natural para o rio Solimões no período de estiagem é de 2 L/s. Essa descarga é 43% maior do que no período chuvoso. Isto faz sentido porque estando o rio em período de recessão a redução das cargas hidráulicas induz no meio aquífero gradientes hidráulicos mais fortes e consequentemente maiores vazões de escoamento natural.

Tabela 4.10 – Frente W de escoamento natural do aquífero Aluvial de Tabatinga, em direção ao rio Solimões, no período de estiagem (outubro de 2012).

Largura (m)	dW1	dW2	dW3	dW4	dW5	dW6	dW7	W
Equipotencial E75	1632	978	691	1024	548	631	793	-
Equipotencial E74	1715	540	752	330	679	1139	264	-
dW médio (m)	1673,5	759	721,5	677	613,5	885	528,5	5858
Comprimento (m)	dL1	dL2	dL3	dL4	dL5	dL6	dL7	W
Entre E75 e E74	155	246	138	246	130	302	628	-
dh (m)	1	1	1	1	1	1	1	-
dh/dL	0,00645	0,00407	0,00725	0,00407	0,00769	0,00331	0,00159	0,00492
dh/dL (m/km)	6,5	4,1	7,2	4,1	7,7	3,3	1,6	4,9
T x dh/dLxW	7,49E-04	2,14E-04	3,63E-04	1,91E-04	3,28E-04	2,03E-04	5,84E-05	2,0E-03

Notar que nos mapas potenciométricos existem também curvas fechadas, indicativas de fluxo para poços existentes em exploração, os quais, além do rio Solimões, se constituem exutórios do aquífero Aluvial e capturam significativa parte do escoamento natural.

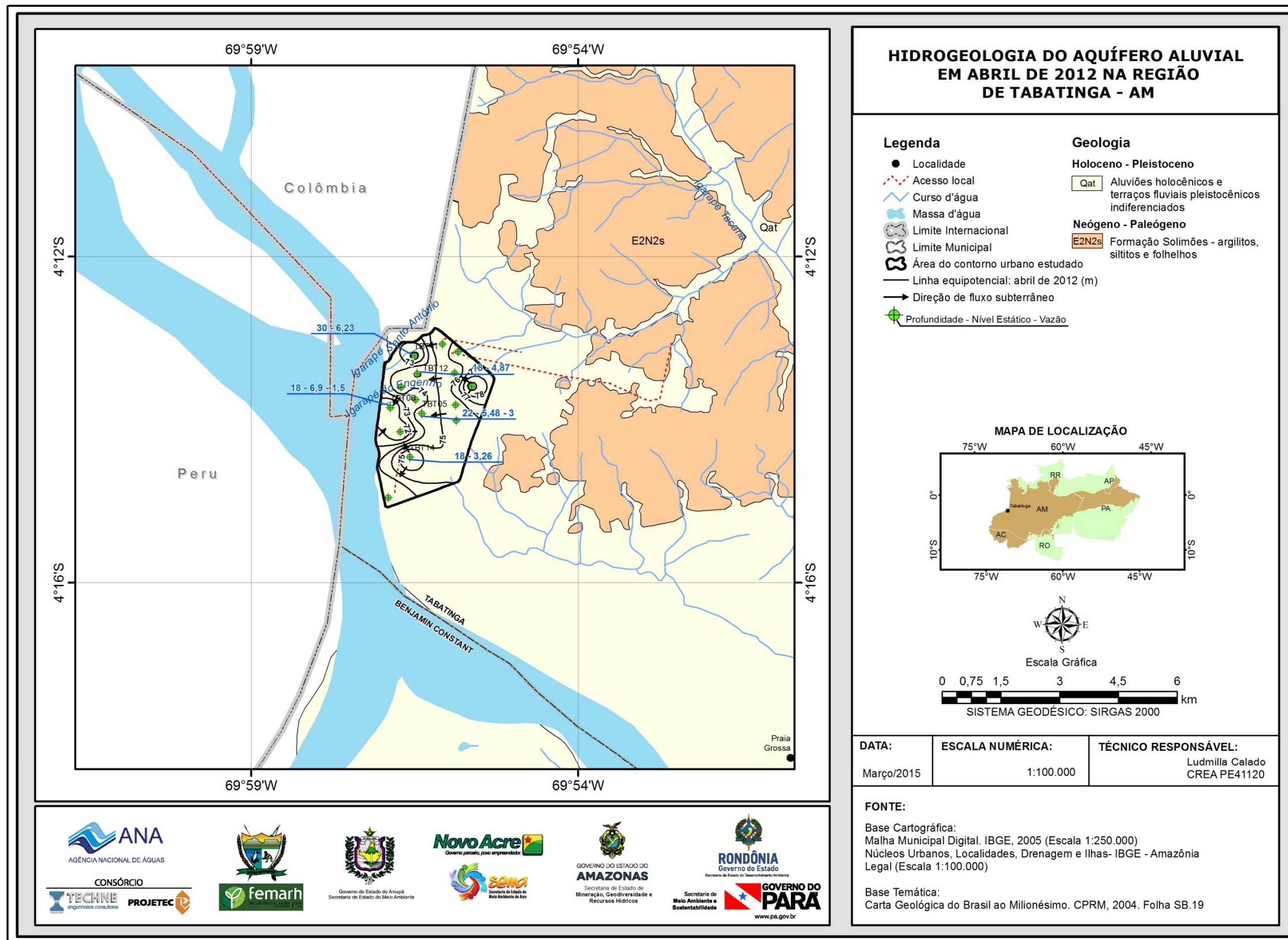


Figura 4.8a – Mapa hidrogeológico com a potenciometria das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012 na cidade de Tabatinga - AM.

4.2.5 – Reservas

4.2.5.1 – Reserva Reguladora ou Recarga Potencial Direta

A recarga potencial direta (RPD) corresponde à parcela da precipitação pluviométrica média anual que infiltra e efetivamente alcança os aquíferos livres, constituindo assim a reserva renovável ou reguladora (ANA, 2013). A área de estudo na cidade de Tabatinga, onde se encontram os poços monitorados no aquífero Aluvial, é de 9,36 km². Sobre essa área a variação sazonal média da superfície freática entre as duas campanhas foi de 1,61 m. A porosidade efetiva encontrada variou de 0,05 a 0,20, com um valor médio de 0,125. Com esses dados os valores extremos e o valor médio da RPD são os seguintes:

$$RPD = 9,36 \times 10^6 \times 1,61 \times 0,05 = 7,35 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{ano} = 0,024 \text{ m}^3 / \text{s} = 81 \text{ mm} / \text{ano}$$

$$RPD = 9,36 \times 10^6 \times 1,61 \times 0,20 = 3,01 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano} = 0,096 \text{ m}^3 / \text{s} = 322 \text{ mm} / \text{ano}$$

$$RPD = 9,36 \times 10^6 \times 1,61 \times 0,125 = 1,88 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano} = 0,060 \text{ m}^3 / \text{s} = 201 \text{ mm} / \text{ano}$$

4.2.5.2 – Reserva Potencial Explotável Estimada

A reserva potencial explotável é dada pelo produto da recarga potencial direta pelo coeficiente de sustentabilidade CS (ANA, 2013), que no caso do aquífero Aluvial de Tabatinga é igual a 0,4. Assim sendo, temos uma estimativa de reserva potencial explotável mínima de $0,4 \times 0,024 = 0,010 \text{ m}^3/\text{s}$ e máxima de $0,4 \times 0,096 \text{ m}^3/\text{s} = 0,038 \text{ m}^3/\text{s}$, com valor médio igual a:

$$RPE = 0,4 \times 0,060 = 0,024 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Conforme se verá adiante na **tabela 4.19**, em 2012 a descarga total dos poços existentes em condições de funcionamento foi de 0,006 m³/s e, portanto, a exploração do aquífero Aluvial, em Tabatinga naquele ano consumia tão somente 25% da RPE.

4.2.5.3 – Reserva Permanente

A reserva permanente do aquífero Aluvial de Tabatinga na área de interesse do estudo é expressa pelo produto da área ($A = 9,36 \text{ km}^2$), pela espessura média saturada ($b = 15 \text{ m}$) e pela porosidade efetiva média (coeficiente de armazenamento livre $S_y = 0,125$).

$$RP = AbS_y = 9,36 \text{ km}^2 \times 15 \text{ m} \times 0,125 = 17,6 \text{ Hm}^3$$

Na **tabela 4.11** são mostrados os valores das reservas estimadas para o aquífero Aluvial de Tabatinga – AM.

Tabela 4.11 – Reservas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – AM.

RESERVAS	Unidade	Valor
Reserva reguladora (RPD)	m ³ /s	0,060
Reserva potencial explotável (RPE)	m ³ /s	0,024
Reserva permanente (RP)	m ³	17,6x10 ⁶

4.2.6 – Situação da Exploração em 2012

4.2.6.1 – Levantamento e Sistematização de Dados

Os dados dos poços levantados no município de Tabatinga no âmbito do Projeto PHA foram sistematizados e fazem parte de um Sistema de Informações Geográficas – SIG ANA PHA 2013 – que constitui a principal fonte de consulta de dados cartográficos, hidroclimáticos, geológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos da Província Hidrogeológica Amazonas.

4.2.6.2 - Poços Catalogados e Cadastrados

A pesquisa hidrogeológica desenvolvida na cidade de Tabatinga foi baseada nos dados dos 121 poços constantes no SIG ANA PHA 2013, dos quais 71 catalogados no SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2010) e 50 novos poços cadastrados pela ANA, no âmbito do Projeto PHA, como pode ser observado no **anexo 7.2** e na **figura 4.9**.

Dentre os 50 novos poços cadastrados foi selecionada uma rede de 15 (quinze) poços para o monitoramento dos níveis freáticos e para a coleta de amostras de água que foram submetidas a análises físico-químicas, bacteriológicas e análises específicas (**capítulo 5**), em duas etapas, uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012).

Os dados sócio-sanitários disponíveis no Sistema de Informação de Atenção Básica – SIAB (MS, 2010) levantados pelo Programa de Agentes Comunitários de Saúde (PACS) e alimentados pela Secretaria Municipal de Saúde Tabatinga, indicam que das 8.873 famílias cadastradas pelo programa apenas 9,1% estão conectadas à rede de esgoto, sendo que a grande maioria (75,8%) possui esgoto por fossa e 15,1% têm esgoto a céu aberto.

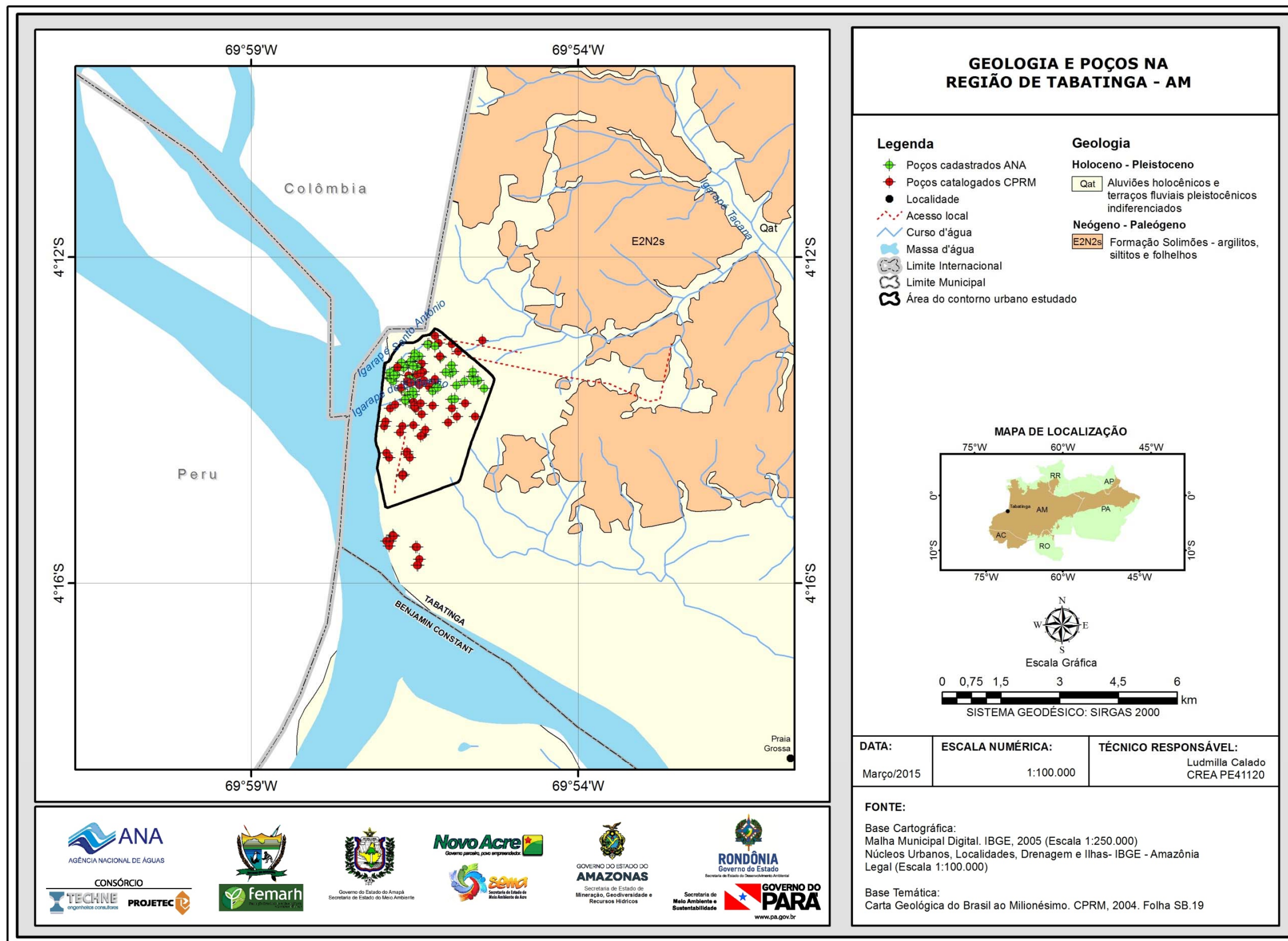


Figura 4.9 – Distribuição espacial dos poços catalogados e cadastrados na folha de 15 minutos e na área de estudo na cidade de Tabatinga – AM. Fonte: SIAGAS/CPRM e ANA.

4.2.6.3 – Tratamento Estatístico dos Dados Catalogados e Cadastrados

Na **tabela 4.12** é apresentada a estatística descritiva dos valores numéricos de profundidade, diâmetro de revestimento, altura da boca, nível estático, nível dinâmico e vazão dos poços cadastrados e catalogados na cidade piloto de Tabatinga.

Tabela 4.12 - Parâmetros estatísticos dos dados de poços de Tabatinga.

Parâmetros Estatísticos	Profundidade (m)	Diâmetro do revestimento (mm)	Altura da boca (m)	Nível Estático - NE (m)	Nível Dinâmico - ND (m)	Vazão (m ³ /h)
Média	21,5	120,3	0,2	7,0	14,9	5,1
Mediana	19,0	101,6	0,1	5,5	15,5	2,0
Desvio Padrão	9,7	38,6	0,2	3,5	3,7	6,3
Coefficiente Variação	0,5	0,3	1,0	0,5	0,2	1,2
Valor máximo	104,0	311,2	1,1	15,0	18,0	20,0
Valor mínimo	9,0	76,2	0,0	1,5	7,0	1,0
Nº amostras	120	71	106	29	8	16

Profundidade

A profundidade dos poços inventariados em Tabatinga variou de 9 a 104 m, com média de 21,5 m. De acordo com a **tabela 4.13**, as classes mais frequentes foram as de 10 a 20 m (68%) e de 20 a 30 m (24%), enquanto que apenas 6,7% dos poços apresentaram profundidade superior a 30 m. Tais resultados indicam que os poços em Tabatinga podem ser considerados como tubulares rasos, uma vez que 93,3% dos poços possuem profundidade inferior a 30 m.

Tabela 4.13 – Frequência da profundidade dos poços tubulares levantados no SIAGAS/CPRM e dos novos cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga - AM.

Classe Profundidade (m)	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	% Acumulado
0<x≤10	2	2	0,02	1,67
10<x≤20	81	83	0,68	69,17
20<x≤30	29	112	0,24	93,33
30<x≤40	4	116	0,03	96,67
40<x≤50	3	119	0,03	99,17
x>50	1	120	0,01	100,00
Total	120	-	-	-

A distribuição de frequência da profundidade dos poços de Tabatinga pode ser visualizada na **figura 4.10**.

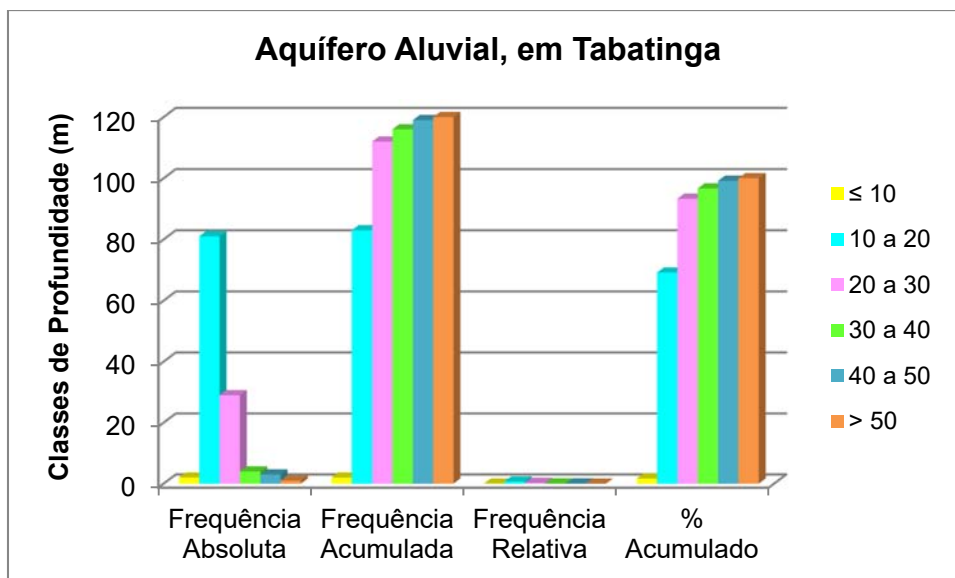


Figura 4.10 – Frequências das classes de profundidade dos poços na cidade de Tabatinga - AM.

Diâmetro do Revestimento

De acordo com a **tabela 4.14**, em Tabatinga, as classes mais frequentes de diâmetro de revestimento são as faixas de 100 a 150 mm (65%) e de 150 a 200 mm (23%). A maioria dos poços, ou seja, 93% apresentam diâmetro de revestimento de até 200 mm, enquanto que apenas 1% possui diâmetro superior a 250 mm.

Tabela 4.14 – Frequência dos diâmetros de revestimento dos poços tubulares levantados no SIAGAS/CPRM e dos novos cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga - AM.

Classe Diâmetro do revestimento (mm)	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	% Acumulado
$0 < x \leq 100$	4	4	0,06	5,63
$100 < x \leq 150$	46	50	0,65	70,42
$150 < x \leq 200$	16	66	0,23	92,96
$200 < x \leq 250$	4	70	0,06	98,59
$x > 250$	1	71	0,01	100,00
Total	71	-	-	-

A distribuição de frequência do diâmetro de revestimento dos poços de Tabatinga pode ser visualizada na **figura 4.11**.

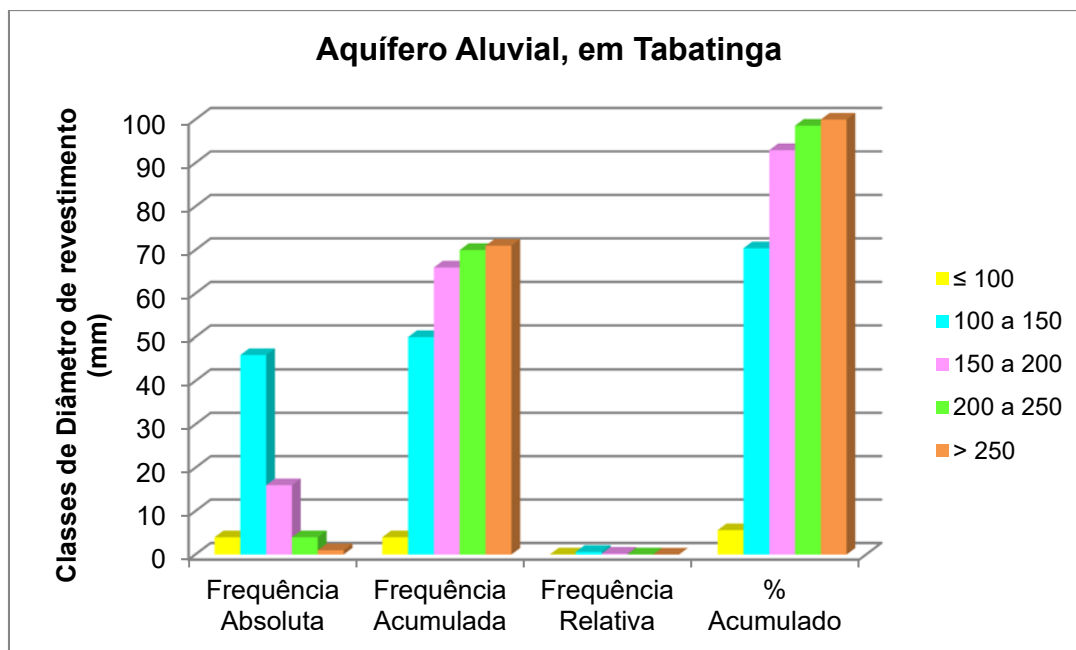


Figura 4.11 – Frequências das classes de diâmetro de revestimento dos poços na cidade de Tabatinga - AM.

Nível Estático

De acordo com os dados da **tabela 4.15** e **figura 4.12**, observa-se em Tabatinga, de modo geral, os níveis estáticos são rasos, haja vista que todos os poços (100%) possuem profundidade do nível estático de até 15 m.

Tabela 4.15 – Distribuição de frequência da profundidade dos níveis estáticos dos poços levantados no SIAGAS/CPRM e cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga - AM.

Classe NE (m)	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	% Acumulado
0<x≤3	2	2	0,07	6,90
3<x≤5	9	11	0,31	37,93
5<x≤7	6	17	0,21	58,62
7<x≤10	6	23	0,21	79,31
10<x≤15	6	29	0,21	100,00
x>15	0	29	0,00	100,00
Total	29	-	-	-

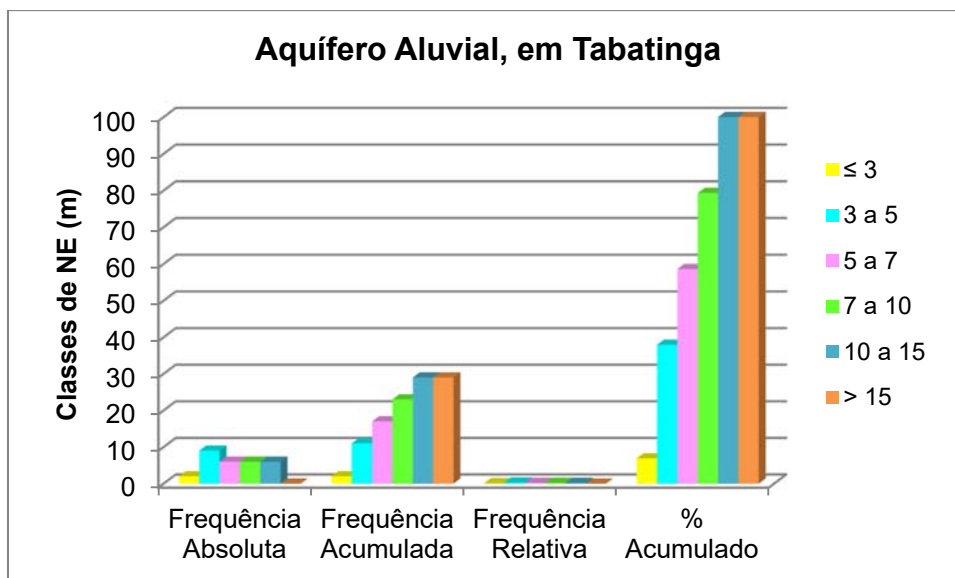


Figura 4.12 – Frequências das classes de profundidade do nível estático dos poços na cidade de Tabatinga - AM.

Nível Dinâmico

Para os níveis dinâmicos dos poços na cidade de Tabatinga, verifica-se que todos os poços (100%) apresentaram profundidades de nível dinâmico de até 20 m, como pode ser observado na **tabela 4.16** e **figura 4.13**.

Tabela 4.16 – Distribuição de frequência dos níveis dinâmicos dos poços na cidade de Tabatinga - AM.

Classe ND (m)	Freqüência Absoluta	Freqüência Acumulada	Freqüência Relativa	% Acumulado
0<x≤8	1	1	0,13	12,50
8<x≤15	3	4	0,38	50,00
15<x≤20	4	8	0,50	100,00
x>20	0	8	0,00	100,00
Total	8	-	-	-

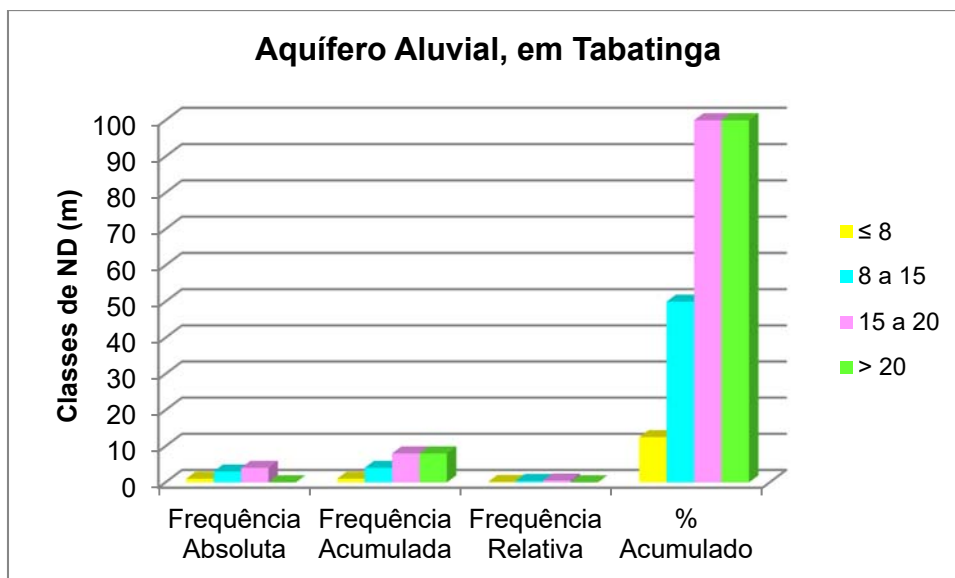


Figura 4.13 – Frequências das classes dos níveis dinâmicos dos poços na cidade de Tabatinga - AM.

Vazão

No que se refere à vazão dos poços que exploram o aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, verifica-se que a maioria (68,75%) dos poços apresenta vazão de até a 2,5 m³/h, como pode ser observado na **tabela 4.17** e na **figura 4.14**. Tais dados revelam que a produção individual de água dos poços na região de Tabatinga, de modo geral, é muito baixa.

Tabela 4.17 – Frequência da vazão dos poços cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga – AM.

Classe Vazão (m ³ /h)	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada	Frequência Relativa	% Acumulado
0 < x ≤ 1,5	4	4	0,25	25,00
1,5 < x ≤ 2,5	7	11	0,44	68,75
x > 2,5	5	16	0,31	100,00
Total	16	-	-	-

Segundo as informações, cerca de 1/3 dos poços (31%) apresentaram vazões muito superiores a 2,5 m³/h (10 a 20 m³/h). Na **tabela 4.18** estão incluídos 4 (quatro) poços situados fora da área de estudo, cerca de 1,5 a 2 km ao sul, com vazões de teste “após estabilização” compreendidas entre 10 e 20 m³/h e vazões específicas variáveis de 1 a 4 m³/h/m. Essas vazões não são consistentes com as características geométricas e hidrodinâmicas do aquífero Aluvial, como indicam as propriedades hidráulicas estimadas (**tabelas 4.4 e 4.5**). Trata-se de valores muito altos de vazão, bastante sugestivos de que os testes de bombeamento foram interrompidos antes de cessar a drenagem gravitacional, responsável pela *estabilização temporária* dos níveis de água, típica dos aquíferos livres, como explicado no modelo de Neuman (1975), **item 4.1.2.2**.

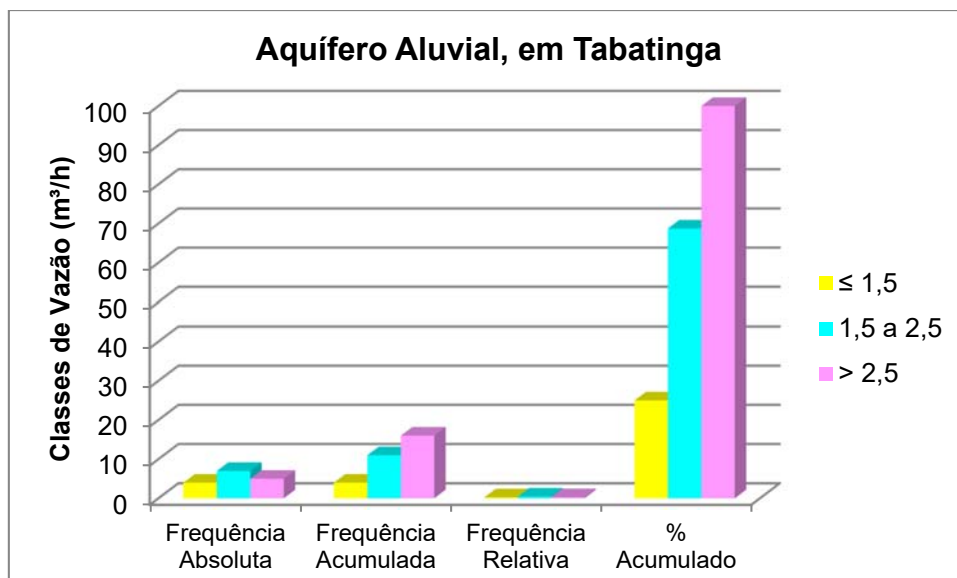


Figura 4.14 – Frequências das classes de vazão dos poços cadastrados pela ANA na cidade de Tabatinga - AM.

Tabela 4.18 – Vazões de teste “estabilizadas” e respectivas capacidades específicas de poços catalogados da CPRM/SIAGAS.

SIAGAS	Prof. (m)	Base aquífero (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)	Vazão Específica (m³/h/m)	Altura dinâmica saturada (m)
S4144	35	19	6,0	12,5	10,0	1,5	6,5
S4145	24	-	10,4	16,0	18,0	3,2	-
S4146	30	21	13,0	18,0	20,0	4,0	3,0
S4148	30	19	3,0	15,0	12,0	1,0	4,0

Conclusões

Com base nos dados apresentados anteriormente referentes à camada aquífera em Tabatinga é possível concluir que:

- A maioria dos poços cadastrados no município de Tabatinga, o equivalente a 93,3% possui profundidades de até 35 m, todavia a base do aquífero geralmente varia de 19 a 21 m e atinge no máximo 24 m;
- Em média, os poços com profundidade superior a 21 m ultrapassam a camada aquífera e penetram nos sedimentos pouco permeáveis (linhitos e argilitos) da Formação Solimões.
- Os níveis estáticos não ultrapassam 15 m de profundidade em todos os poços cadastrados e catalogados;
- As vazões informadas predominantes situam-se na faixa de 1,5 a 2,5 m³/h (**figura 4.15**), mas não se trata de vazões sustentáveis. Segundo a **equação 4.17**, as vazões em regime de equilíbrio seriam de 14 m³/dia ou 0,58 m³/h. Portanto, dificilmente haveria condições para uma exploração por empresa concessionária de abastecimento público de água. Não obstante, para abastecimento doméstico em regime de poucas horas por dia, a exploração do aquífero Aluvial, em Tabatinga se revela perfeitamente viável, mas sempre requerendo vigilância dos órgãos competentes para o controle da construção dos poços e da

qualidade da água, que de modo geral oferece riscos à saúde da população.

Além dos parâmetros acima descritos, o cadastro obteve algumas informações importantes relacionadas à operacionalidade dos poços, ao regime de bombeamento, os tipos de equipamento e usos da água, os quais serão detalhados a seguir.

De acordo com o SIG ANA-PHA 2013, foram cadastrados em Tabatinga 50 poços pela ANA e catalogados 71 poços do SIAGAS/CPRM, totalizando 121 poços, dos quais, foi constatado que 89% (108) se encontram em operação, enquanto que 9% (11) estão abandonados e 2% (2) não instalados.

Já no que se refere ao tipo de equipamento, de bombeamento dos poços, verificou-se que 0,8% usam bomba centrífuga, 4,1% bomba injetora, 0,8% bomba manual, 30,6% bomba submersa, e os 63,6% restantes não apresentaram informação quanto ao tipo de equipamento usado.

4.2.7 – Regime de Funcionamento dos Poços

Na **tabela 4.19** são mostrados os valores dos parâmetros estatísticos do número de horas por dia em que são bombeados os poços da área estudada.

Usando apenas os 43 poços com regime de funcionamento e vazão informados, o cálculo do regime médio de funcionamento para todos os poços do aquífero Aluvial, ponderado pela frequência do número de horas de bombeamento nos intervalos de classe, é dado pela expressão:

$$\overline{R_e} = \sum_{j=0}^3 R_{mj} \times W_j$$

Tabela 4.19 – Cálculo do regime médio de funcionamento usando 43 dos 108 poços em operação, com vazão e regime informados na cidade de Tabatinga, no aquífero Aluvial.

Classe Regime de Funcionamento (h/dia)	Frequência Absoluta (FA)	Regime Médio Informado - Rej (h/dia)	Frequência relativa - Wj	Regime Médio Estimado - Re (h/dia)
0<x≤1	34	0,50	0,79	0,39
1<x≤2	6	2,00	0,14	0,28
2<x≤3	1	3,00	0,02	0,07
3<x≤4	2	4,00	0,05	0,19
Total	43	-	1	0,93

Legenda:

N = número total de poços com regime de funcionamento informado no SIG ANA-PHA (2013).

Frequência Absoluta (FA) = número de poços com regime de funcionamento informado no SIG ANA-PHA (2013) em cada intervalo de classe.

Regime Médio Informado (Rej) = Média de horas de funcionamento dos poços em cada intervalo de classe.

Regime médio ponderado: $R_e = R_{ej} \times W_j$.

Frequência Relativa (Wj) = FA/N.

Regime Médio Estimado: $\overline{R_e} = \sum_{j=0}^3 R_{ej} \times W_j = 0,93 \text{ h/dia ou } 56 \text{ minutos/dia}$

Como se vê na **tabela 4.19**, o regime médio estimado para os poços de Tabatinga em 2012 é de 56 minutos por dia.

4.2.8 – Produção Global dos Poços

Considerando o regime de funcionamento de 0,93 h/dia e a vazão média dos diferentes intervalos de classe de vazão apresentados na **tabela 4.20**, obtém-se uma produção estimada de 511,85 m³/dia, ou 0,006 m³/s, para um efetivo de 107 poços em operação no ano de 2012. Essa produção corresponde a 25% da reserva potencial explorável (RPE), que foi estimada em 0,024 m³/s (2.074 m³/dia). Como visto no **item 4.1.2.4**, sem contar interferências, a capacidade de produção sustentável prevista para poços, em média, é de 14 m³/dia e, portanto, para captar a RPE deverão ser necessários pelo menos 428 poços.

Por outro lado, em relação à recarga de 0,060 m³/s (5.184 m³/dia), o escoamento natural avaliado em 2 L/s representa apenas 3%, o que leva a concluir que 97% da recarga devem estar sendo usados pelos poços existentes, uma vez que aparentemente não existem outros exutórios além dos poços. Para consumir essa recarga seriam necessários 1.070 poços com vazão média 0,58 m³/h. É bem possível que exista mais do que esse número de pontos d'água na região urbana de Tabatinga. Somente assim se poderia explicar esse consumo quase total da recarga. Segundo informações verbais obtidas durante o trabalho de campo, em Tabatinga existem mais de 2.000 poços.

Tabela 4.20 - Produção global estimada para Tabatinga em 2012, explorada do aquífero Aluvial.

Classe Vazão (m ³ /h)	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Vazão Média (m ³ /h)	Efetivo de Poços	Vazão Estimada (m ³ /dia)	Vazão Estimada (m ³ /s)
0<x≤1,5	4	0,25	1,25	27	31,10	0,0004
1,5<x≤2,5	7	0,44	2,04	47	88,94	0,0010
x>2,5	5	0,31	12,60	33	391,82	0,0045
Total	16	1	-	107	511,85	0,006

Legenda:

N = número total de poços com vazão informada no SIG ANA-PHA (2013).

Frequência Absoluta (FA) = número de poços com vazão informada no SIG ANA-PHA (2013) em cada intervalo de classe.

Frequência Relativa (FR) = FA/N.

Vazão Média (QM) = média dos valores de vazão informada em cada intervalo de classe.

Efetivo de poços = 107 x FR = número de poços estimado em 2012 no intervalo de classe correspondente ao dos dados informados.

Vazão Estimada (QE) m³/dia = QM x RME x Efetivo de poços em cada intervalo de classe.

Vazão Estimada (QE) m³/s = QE (m³/dia) x Quantidade de segundos em um dia (84.600).

A partir dos dados do cadastro SIG ANA-PHA 2013 verificou-se a situação operacional dos poços em Tabatinga da seguinte forma: 9,1% abandonado, 68,6% bombeando, 15,7% equipado, 1,7% não instalado, 0,8% obstruído e 4,1% parado.

A **tabela 4.20** apresenta a produção global dos poços de acordo com a situação operacional informada no cadastro, onde se verifica que os 107 poços em operação, no ano de 2012, extraía 77,6% da produção global de água, ou seja, 0,0047 m³/s (**tabela 4.21**).

Tabela 4.21 - Distribuição dos poços e da produção global com a situação operacional informada.

Poços	Registrados	Operando	Equipado	Parado
Número	107	83	19	5
Percentual	100%	77,6%	17,8%	4,7%
Vazão (m³/s)	0,006	0,0047	0,0011	0,0003

Dentre os 16 poços com informação de vazão no cadastro SIG ANA-PHA 2013, apenas 12 estão situados dentro da área de estudo. Tais poços foram utilizados para obtenção da distribuição espacial da vazão, onde se verifica que os valores de vazão não ultrapassam 3 m³/h, sendo mais frequente a faixa de 1,5 a 2,5 m³/h, como pode ser observado na **figura 4.15**. Quanto ao uso da água subterrânea para os 121 poços em Tabatinga, verifica-se que 76,9% é destinada ao abastecimento; 18,2% ao uso múltiplo; 3,3% para indústria; 0,8% outros usos não citados anteriormente; e os 0,8% restantes informaram que não utilizam a água do poço.

Mediante análise do cadastro SIG ANA-PHA 2013, observou-se que, apenas 41,3% dos poços possuem indicação do tipo de reservatório que utilizam para armazenamento da água explorada. De acordo com os dados da **tabela 4.22**, a maioria dos poços possui armazenamento em caixa d'água de polietileno (78%), seguido de caixa d'água de alvenaria (6%) e da caixa d'água de amianto (2%), enquanto que 14% informaram que não possui reservatório instalado.

Tabela 4.22 – Tipos de reservatório de água de poços em Tabatinga - AM.

Reservatórios	Nº	Caixa d'água de polietileno	Caixa d'água de alvenaria	Caixa d'água de amianto	Não possui reservatório
Registros	50	39	03	01	07
Percentual	100%	78%	6%	2%	14%

5 – Hidrogeoquímica

5.1 – Introdução

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 7.4**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises na cidade de Tabatinga, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

Laboratório da Bioagri Ambiental:

- 15 (quinze) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, Eh, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato, carbonato, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (E. Coli);
- 05 (cinco) Análises de Metais Pesados - arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, nos poços: 3, 7, 9, 14 e 15;
- 05 (cinco) Análises de BTEX e Fenóis - benzeno, tolueno, etilbenzeno, o-Xileno e m,p-Xileno, nos poços: 3, 7, 9, 14 e 15.

Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:

- 03 (três) Análises de Isótopo Ambiental Estável - deutério e oxigênio-18, nos poços: 8, 9 e 15.

Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:

- 06 (seis) Análises do Isótopo Ambiental Radioativo - trício, nos poços: 3, 7, 8, 9, 14 e 15.

Laboratório Beta Analytic, da Flórida - USA:

- 01 (uma) Análise do Isótopo Ambiental - carbono 14, no poço 7.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 7.3**.

5.1.1 - Critérios de seleção para as amostragens

Como resultado do levantamento dos dados previsto no **item 6.2.1** e posterior cadastramento *in situ* previsto no **item 6.3** dos TDRs, foram selecionados pela Consultora em comum acordo com a CTAF - Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização do Projeto PHA, os poços para as análises quantitativa e qualitativa do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga.

Para a seleção dos poços foram adotadas as 07 (sete) condições apresentadas no **item 6.4.2.1** dos TDRs, quais sejam:

1. Devem ser predominantemente poços produtores;
2. Deve-se ter a anuência do proprietário para a coleta no poço;
3. Deve captar prioritariamente um sistema aquífero único;
4. Deve estar distribuído o mais uniformemente possível em relação aos demais, de modo a constituírem uma amostragem representativa da região estudada;
5. Os poços devem possuir perfil construtivo e litológico;
6. Os poços devem ser georreferenciados com GPS com altímetro barométrico (precisão planimétrica mínima de 1,0 metro; precisão altimétrica mínima de 3,0 metros);
7. Os poços devem ser equipados com bomba e ligados a rede de energia.

A seleção propriamente dita para a cidade de Tabatinga foi feita através de consulta a uma macro em VBA Excel, aplicada à matriz do cadastro geral (SIG ANA PHA 2013) através da qual foram selecionados todos os poços com o maior número de critérios atendidos, na área de estudo.

Em relação às análises de metais pesados, BTEX e fenóis também se observou o critério do poço estar situado em locais próximos de potenciais fontes de contaminação, como, por exemplo, indústrias de transformação, postos de combustível, estabelecimentos comerciais, entre outros, em consonância com o **item 6.4.3.2** dos TDRs.

Quanto à seleção dos poços para as análises de isótopos ambientais estáveis e radioativos foram feitas pela Consultora em definição conjunta com a CTAF, conforme consta no **item 6.4.3.2** dos TDRs, sempre com a preocupação de não coletar amostras em poços equipados com sistemas de bombeamento *air-lift* para evitar possíveis alterações nos resultados das análises, devido à presença de bolhas de ar.

Localização dos pontos amostrados

A distribuição espacial dos poços amostrados em Tabatinga é apresentada para as análises físico-químicas e bacteriológicas na **figura 5.1**; para as análises de metais pesados, BTEX e Fenóis na **figura 5.2**, e finalmente para os isótopos ambientais ($\delta^{18}O, \delta^2He, ^3H$) na **figura 5.3**.

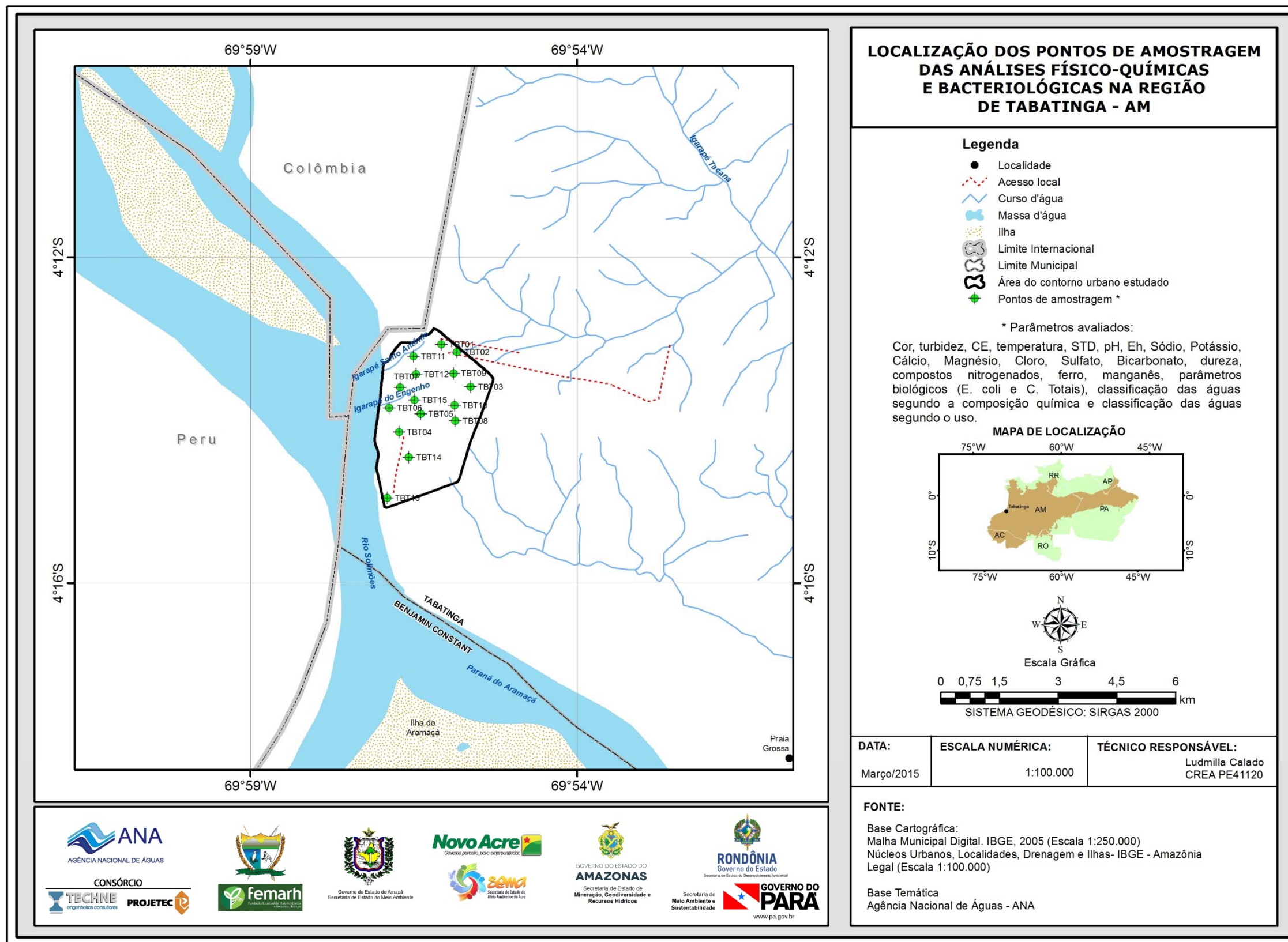


Figura 5.1 – Localização dos pontos de amostragem das análises físico-químicas e bacteriológicas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - AM.

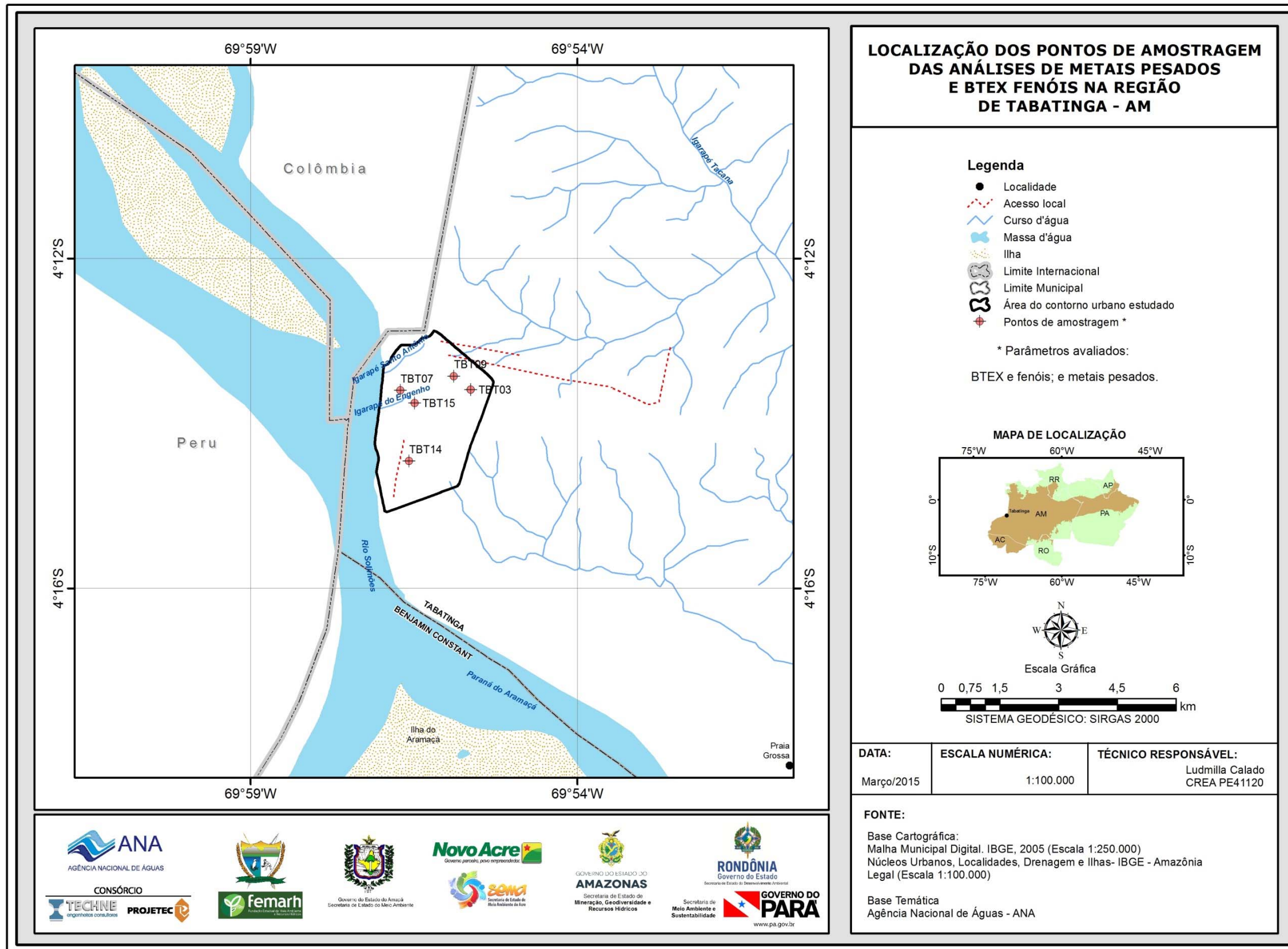


Figura 5.2 – Localização dos pontos de amostragem das análises de metais pesados e BTEX fenóis no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - AM.

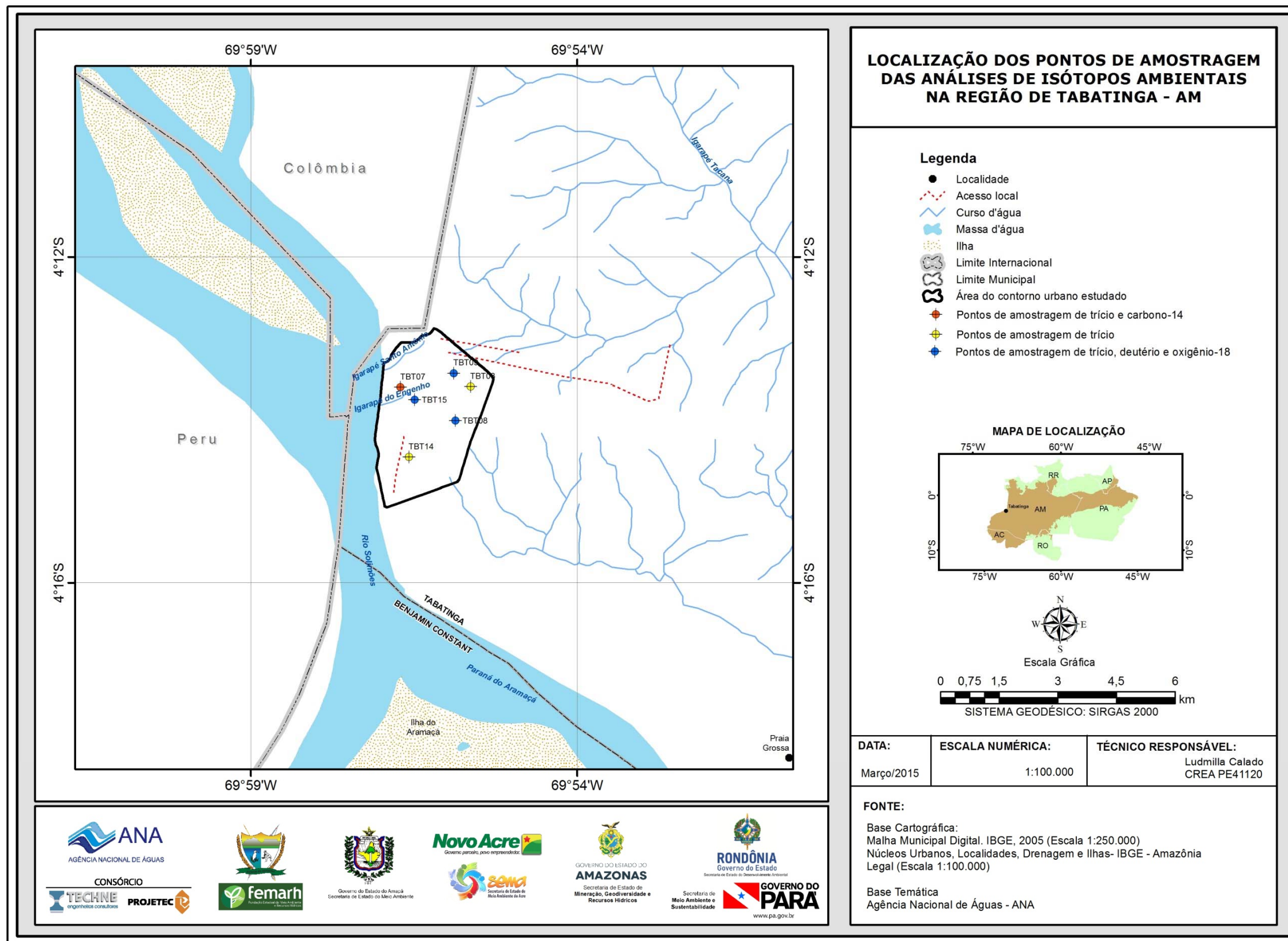


Figura 5.3 – Localização dos pontos de amostragem das análises de isótopos ambientais no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - AM.

5.1.2 - Procedimentos de Coleta

Para a coleta em campo na cidade de Tabatinga, o Laboratório Bioagri forneceu aos grupos, acondicionados em caixas de isopor, cinco kit's de coletas, cada um deles para a amostragem de um poço, contendo: quatro frascos para coletas das análises físico-químicas, um frasco para a coleta das análises bacteriológicas, uma esponja dupla face, dois pares de luvas, uma fita crepe, três sacos plásticos grandes, as fichas do laboratório para as informações das coletas e dois kit's extras para um eventual problema durante a amostragem, como pode ser observado na **foto 5.1**.



Foto 5.1 – Kit's de coletas usados em campo para as amostragens de água do aquífero Aluvial, nas duas campanhas, na cidade de Tabatinga - AM.

Nas coletas das análises físico-químicas e bacteriológicas foram utilizados cinco frascos de polietileno para cada poço, sendo um de 500 mL, dois de 250 mL, um de 150 mL e um de 100 mL. Todos os frascos foram abertos somente no ato da coleta, preenchidos com as amostras de água e imediatamente preservados em refrigeração e suas análises realizadas no prazo de 48 horas. Nos frascos para as análises químicas da série nitrogenada (nitrogênio amoniacal e nitrogênio Kjeldahl Total), além das preservações das amostras em refrigeração, foram adicionados volumes de ácido sulfúrico.

Para as análises bacteriológicas, todos os frascos foram autoclavados, contendo uma partilha de tiosulfato de sódio, sendo acondicionado em isopor com gelo para preservação, logo após a coleta, pelo prazo de 24 horas, até a realização da análise.

Para as análises isotópicas de ^{18}O e ^2H , as amostras foram armazenadas em frascos plásticos (100 mL) de polipropileno tendo-se o cuidado de não deixar qualquer bolha permanecer no recipiente para evitar alterações nos resultados.

5.1.3 - Métodos de Análise

As metodologias de análise utilizadas pelo laboratório Bioagri Ambiental para os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos foram os seguintes:

Cor - POP PA 012 (Rev.02) / SMWW 2120 C;

Condutividade Elétrica - POP PA. 014 (Rev.00) / SMEWW 2510;

Dureza - POP PA 027 / SMWW 2340 A, B, C;

Turbidez - POP PA 013 (Rev.03) / SMWW 2130 B;

Sólidos Totais Dissolvidos (STD) - POP PA 009 (Rev.04) / SMWW 2540C;

pH - POP PA 011 (Rev.03) / SMWW 4500 – H+ B;

Alcalinidade - POP PA 026 / SMWW 2320B;

Carbonato e Bicarbonato - SMEWW 4500-CO₂;

Ânions - POP PA 032 / USEPA SW 846 – 300.1. *Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography*;

Metais (ICP-MS) - POP PA 038 (Rev.01) / SMWW 3125 B, *Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry/USEPA 6020*;

Nitrogênio Total - Soma do NTK, NO₃ e NO₂;

Nitrogênio Total Kjeldahl - POP PA 007 / SMEWW 4500 Norg C;

Nitrogênio Amoniacal - POP PA 005 /SMEWW 4500 - NH₃- D- *Ammonia - Selective Electrode Method*;

Coliformes - POP PA 040 (Ver. 05) / SMEWW 9223 B;

Carbono 14 - *Accelerate Mass Spectrometry (AMS)*.

O controle de qualidade do laboratório se baseou na Resolução CONAMA 396/2008 para o limite quantitativo praticável padrão para todas as amostras das águas subterrâneas que foram submetidas às análises físico-químicas e bacteriológicas. O controle de qualidade dos metais totais das amostras foi realizado pelo Branco de Análise para sódio, potássio, cálcio e magnésio, todos com limites quantificáveis de 10 µg/L; e manganês e ferro nos limites quantificáveis de 0,1 µg/L; e os resultados analisados por *Inductively Coupled Plasma* (ICP/MS) foram (< 10 µg/L) para sódio, potássio, cálcio e magnésio e (< 0,1 µg/L) para manganês e ferro.

No ensaio do Branco de Análise, à amostra controle e às amostras dos 30 poços foram adicionados 50% de ítrio e recuperados por análise de (ICP/MS) e todos ficaram na faixa do limite aceitável que é de 70 a 130%. Enquanto que para os ensaios de recuperação analisados por ICP/MS foram adicionados 10 µg/L dos metais (lítio, vanádio, cobalto, zinco, molibdênio, antimônio e chumbo) e foram recuperados para cada metal 80% das alíquotas adicionadas que fica na faixa aceitável de recuperação que está o intervalo de (80 a 120%).

O Limite de Quantificação da Amostra (LQ) pode variar no mesmo parâmetro, pois consiste no resultado obtido entre o Limite de Quantificação do Método (LQM), multiplicado pelo fator de preparo da amostra, multiplicado pela correção da base seca, quando aplicável.

No ensaio de Carbono-14 os resultados são apresentados no padrão convencional de radiocarbono Idade Anos BP (*before present*), que representa o "radiocarbono medido Idade BP", de duas maneiras: Percentual de Carbono Moderno (pMC), que indica a média do resultado de biomassa (expressa em %), para menos de 200 anos BP; e Fração de Carbono Moderno (Fmdn).

5.1.4 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações, pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, por meio do *software Qualigraf* desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2010), o qual determina o Erro Prático (Ep) segundo as metodologias de Custodio & Llamas (1983) no balanço iônico nº 1 e Logan (1965) no balanço iônico nº 2, como mostra a **figura 5.4**.

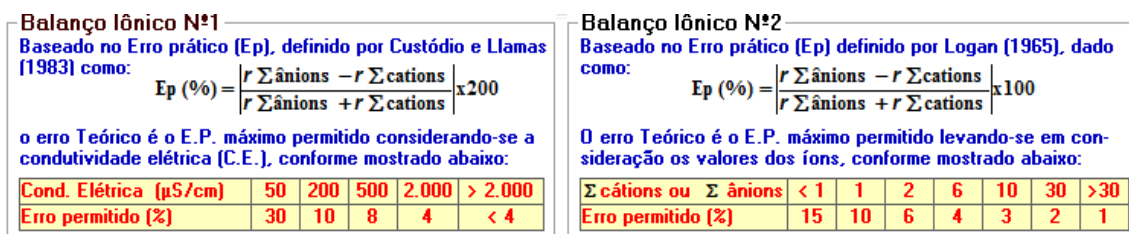


Figura 5.4 – Equações utilizadas no *software Qualigraf* para estimativa do erro prático no balanço iônico, segundo as metodologias de Custodio & Llamas (1983) e Logan (1965).

Segundo essas referências, a metodologia do balanço iônico nº 1 estabelece Ep máximo de 30% levando em consideração o valor de condutividade elétrica, ao passo que a metodologia do balanço iônico nº 2 define Ep limite de 15% observando os valores de íons.

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 67% (10/15) das amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga apresentaram Ep dentro dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1 e nº 2.

Cerca de 33% (5/15) das amostras apresentam Ep superiores aos limites definidos, não sendo considerados válidos em ambos os balanços iônicos (**tabela 5.1**).

Tabela 5.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – abril de 2012.

Poço	CE (µS/cm)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
TBT01	35	0,29	0,27	6,08	3,04
TBT02	49	0,25	0,63	85,03	42,52
TBT03	172	0,92	0,86	6,80	3,40
TBT04	65	0,43	0,40	6,54	3,27
TBT05	44	0,25	0,23	8,00	4,00
TBT06	26	0,16	0,19	15,52	7,76
TBT07	146	0,98	0,66	38,82	19,41
TBT08	40	0,25	0,44	53,44	26,72
TBT09	20	0,04	0,04	6,39	3,20
TBT10	36	0,20	0,12	54,84	27,42
TBT11	36	0,23	0,34	37,27	18,63
TBT12	112	0,87	0,94	7,86	3,93
TBT13	81	0,46	0,53	14,11	7,06
TBT14	73	0,52	0,62	17,70	8,85
TBT15	45	0,31	0,34	9,08	4,54

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 67% (10/15) das amostras obtiveram resultados dentro dos padrões de Ep classificadas como apropriadas na metodologia nº 1 e o mesmo quantitativo também foi considerado apropriado pela metodologia nº 2 de balanço iônico. Cerca de 33% (5/15) das amostras não foram consideradas corretas, haja vista que apresentaram Ep fora dos limites permissíveis estabelecidos nos dois balanços iônicos, como demonstra a **tabela 5.2**.

Tabela 5.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – outubro de 2012.

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
TBT01	32	0,2	0,17	13,08	6,54
TBT02	69	0,29	0,3	2,56	1,28
TBT03	19	0,05	0,02	75,82	37,91
TBT04	137	0,94	0,73	24,69	12,34
TBT05	47	0,36	0,38	4,47	2,24
TBT06	67	0,46	0,34	29,19	14,6
TBT07	123	0,9	1,09	19,25	9,63
TBT08	47	0,45	0,43	3,16	1,58
TBT09	48	0,44	0,32	32,27	16,14
TBT10	39	0,31	0,34	9,74	4,87
TBT11	167	0,87	0,76	12,36	6,18
TBT12	107	0,76	0,82	8,83	4,41
TBT13	66	0,47	0,3	43,96	21,98
TBT14	31	0,28	0,36	23,65	11,82
TBT15	97	0,53	0,46	14,28	7,14

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). Na cidade de Tabatinga, as águas do aquífero Aluvial se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que os teores de STD alcançam no máximo 154 mg/L no período chuvoso e 120 mg/L no período de estiagem, quando o VMP desse parâmetro para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, é de 1.000 mg/L.

Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como, dos íons sódio (Na^+), Cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou $\mu\text{g}/\text{L}$. Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção indicados, por exemplo, como (<1) foram considerados no cálculo do erro, como 1 $\mu\text{g}/\text{L}$ (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados não comprometem os resultados analíticos obtidos.

5.1.5 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB, também chamado Índice de Desequilíbrio, permite avaliar o grau de troca iônica ocorrido numa água com base nas relações entre os seus íons. Esse índice foi definido por meio da equação de Schoeller (1962), onde o símbolo *r* representa os valores em meq/L, como pode ser observado abaixo:

$$itb = \frac{rCl - r(Na + K)}{rCl}$$

De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que apenas 33% (5/15) das amostras forneceram valores positivos, indicando o predomínio de cátions nas águas que ali circulam, enquanto que 67% (10/15) apresentaram valores negativos na coleta de abril de 2012 (**tabela 5.3** e **figura 5.5**). Isto revela maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que sugere o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ por Na⁺.

Tabela 5.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga nas duas campanhas.

Poço	ITB 1 - abril de 2012 (meq/L)	ITB 2 - outubro de 2012 (meq/L)
TBT01	-0,15	-0,52
TBT02	0,29	-4,59
TBT03	0,04	-0,97
TBT04	0,09	-0,33
TBT05	-0,44	-2,51
TBT06	-0,61	-0,90
TBT07	-0,37	0,13
TBT08	-0,93	-19,54
TBT09	0,13	-1,29
TBT10	-0,38	-1,70
TBT11	-3,80	-0,03
TBT12	-0,09	-0,34
TBT13	0,21	-0,39
TBT14	-0,50	-9,21
TBT15	-1,67	-0,78

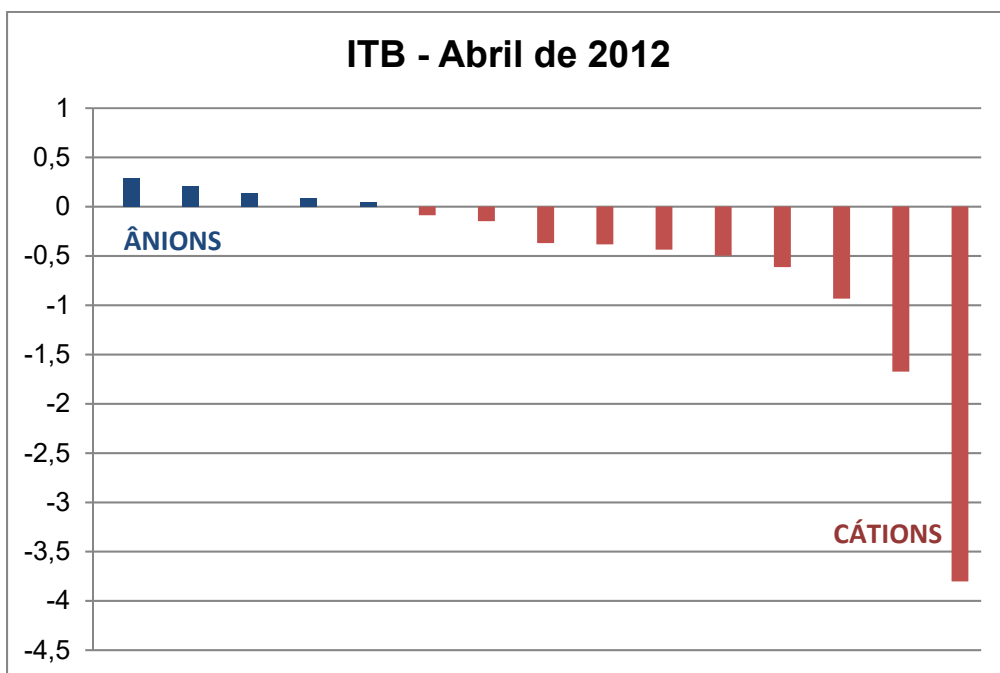


Figura 5.5 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

Na coleta de outubro de 2012, 7% (1/15) das amostras apresentaram valores positivos, ao passo que 93% (14/15) obtiveram resultados negativos, como pode ser visualizado na **tabela 5.3**. Tais resultados refletem a maior presença de cátions nas águas (**figura 5.6**).

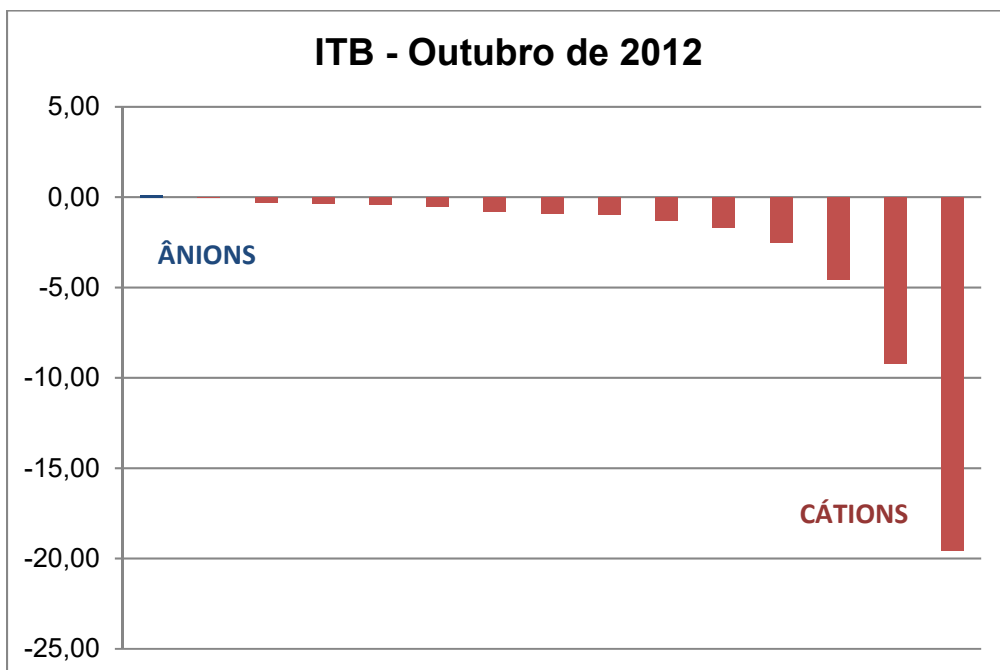


Figura 5.6 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, nas duas campanhas estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos aumenta a diferença $Cl-(Na + K)$, numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 5.4** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de -3,80 e 0,29; -19,54 e 0,13 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

Tabela 5.4 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-0,55	-2,86
Erro padrão	0,27	1,34
Mediana	-0,37	-0,90
Desvio padrão	1,03	5,20
Variância da amostra	1,07	27,05
Curtose	7,36	8,15
Assimetria	-2,55	-2,79
Intervalo	4,09	19,67
Mínimo	-3,80	-19,54
Máximo	0,29	0,13
Soma	-8,18	-42,97
Contagem	15	15
Nível de confiança (95%)	0,57	2,88

Os resultados de ITB negativos obtidos em ambas as campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região amazônica que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

5.1.6 - Razões Iônicas

As razões iônicas são as relações entre os íons dissolvidos em uma água que pode guardar certa ligação com o terreno do qual procede à água, indicando a ação de fenômenos modificadores ou sugerindo alguma característica específica.

De acordo com Hem (1985), o estudo de razões iônicas é importante para a classificação e interpretação hidrogeoquímica das águas subterrâneas, para tanto, estabelece as principais razões iônicas e seus significados. Algumas dessas razões (adimensionais) entre íons são expressas em meq/L como indica o símbolo r nas equações apresentadas na **tabela 5.5**.

Tabela 5.5 – Principais razões iônicas e seus significados segundo Hem (1985).

Razões Iônicas	Variações Teóricas	Significado
$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	0,25 a 0,33	Água de circulação em rocha de composição granítica
	0,33 a 1,5	Águas continentais
	> 0,9	Contato com água do mar ou fluxo através de rocha básica; possível influência de terrenos dolomíticos
	> 1	Relações com litotipos ricos em silicatos magnesianos
	± 5	Água do mar
$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	< 0,0876	Água do mar; substituição de Na^+ por Ca^{+2} e Mg^{+2}
	< 0,7	Precipitações de sais de Na^+
	> 0,7	Fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas
$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	0,5	Fluxo normal para rochas cristalinas
	0,1 a 0,5	Águas continentais
	20 a 50	Água do mar

A **tabela 5.6** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas, realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

A razão rMg^{2+}/rCa^{2+} indica que 80% e 87% dos poços, respectivamente, para a primeira e segunda campanha, contém águas continentais que possivelmente sofrem influência de terrenos dolomíticos.

A razão rNa^+/rCl^- sugere que os poços contém águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas, em 80% das amostras na primeira campanha e 100% dos poços na segunda campanha.

A razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$ mostrou que 33% e 20% dos poços no período chuvoso e de estiagem, respectivamente, contém águas continentais. Essa razão iônica não pode ser avaliada em 27% dos poços no período chuvoso e em 20% na estiagem, devido à ausência de íon bicarbonato.

Excetuando, talvez, a sugestão de que as águas do aquífero Aluvial são continentais, tudo indica que as demais conclusões não se aplicam ao caso de Tabatinga, onde as águas subterrâneas, oriundas, sobretudo, de infiltrações de águas de chuva, são muito diluídas e dificilmente podem ter sofrido influências de trocas iônicas com as rochas regionais. Na verdade, os valores mais altos, inclusive os anômalos dos constituintes iônicos maiores, seguramente resultam de contaminação pela ausência de esgotamento sanitário e produzem desvios muito fortes nos dados, particularmente na razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$.

Tabela 5.6 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga nas duas campanhas.

Poço	Razões Iônicas - Período chuvoso			Razões Iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
TBT01	2,54	0,79	0,78	4,81	1,16	0,97
TBT02	3,94	0,60	0,96	3,41	3,07	0,10
TBT03	2,20	0,85	-	2,08	1,17	-
TBT04	2,17	0,69	1,37	1,63	1,18	2,37
TBT05	8,24	1,16	1,20	1,35	2,83	0,24
TBT06	3,68	1,06	0,36	4,17	1,60	1,24
TBT07	2,61	1,22	2,62	2,35	0,77	1,70
TBT08	1,14	1,42	0,16	1,00	17,84	0,03
TBT09	1,60	0,69	-	6,85	2,10	1,36
TBT10	0,95	1,22	-	1,27	2,45	0,42
TBT11	0,79	3,22	0,10	4,14	0,87	-
TBT12	0,09	0,95	0,44	0,10	1,25	0,88
TBT13	4,45	0,74	-	5,36	1,29	-
TBT14	1,42	1,27	0,53	0,74	7,12	0,05
TBT15	1,37	2,07	0,28	2,51	1,35	0,61

5.1.7 - Índice de Langelier

O índice de Langelier, também conhecido como índice de saturação (IS), é utilizado para verificar se uma água está ou não em equilíbrio com a calcita (carbonato de cálcio sólido) $CaCO_{3(s)}$, dependendo de o seu valor ser positivo ou negativo.

O IS é definido como a diferença entre o pH real (medido) da água e o pH hipotético pHs (pH de saturação) que a água teria se estivesse em equilíbrio com a calcita $CaCO_{3(s)}$. A determinação do pH de saturação (pHs) é feita a partir dos parâmetros de temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), dureza e alcalinidade total.

O IS pode ser obtido por meio da seguinte equação:

$$IS = pH - pHs$$

O pH de saturação é calculado pela seguinte equação:

$$pHs = 9,3 + A + B - C - D, \text{ sendo:}$$

$A = 0,1 \times \log (STD) - 1$	$B = -13,12 \times \log (T + 273) + 34,55$
$C = \log (\text{dureza}) - 0,4$	$D = \log (\text{alcalinidade})$

A classificação da tendência das águas de acordo com o IS é apresentada na **tabela 5.7**.

Tabela 5.7 – Faixas do IS segundo Snoeyink & Jenkins (1980).

IS	Possível tendência da água
>0	Água supersaturada - tende a precipitar calcita $\text{CaCO}_{3(s)}$
0	Estável - água em equilíbrio com o $\text{CaCO}_{3(s)}$
<0	Água subsaturada - tende a dissolver a calcita $\text{CaCO}_{3(s)}$

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, no período chuvoso (abril de 2012) e período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 5.8**. Todas as amostras, em ambas as coletas, apresentaram resultados de IS negativos, o que sugere que as águas não possuem características incrustantes.

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -7,04 a -1,99 e no período seco de -5,26 a -2,49, indicando águas subsaturadas em relação à calcita e com tendência a dissolver $\text{CaCO}_{3(s)}$. Isto ocorre porque as águas do aquífero Aluvial são ácidas, variando de 2,31 no período chuvoso a 3,9 no período de estiagem, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

Tabela 5.8 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga nas duas campanhas.

Poço	IS (Abril de 2012)	IS (Outubro de 2012)
TBT01	-4,03	-4,51
TBT02	-4,73	-4,24
TBT03	-5,75	-5,26
TBT04	-3,64	-2,89
TBT05	-4,78	-4,08
TBT06	-7,04	-4,87
TBT07	-3,90	-3,54
TBT08	-3,18	-2,49
TBT09	-5,66	-5,00
TBT10	-4,08	-4,39
TBT11	-3,58	-4,69
TBT12	-1,99	-3,14
TBT13	-5,02	-2,53
TBT14	-2,96	-4,97
TBT15	-3,79	-4,32

5.1.8 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas

Alguns parâmetros físico-químicos analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação por meio do *software Assistat* desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (Silva, 2012), o qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação (ρ).

Quanto ao nível de significância, conforme a **tabela 5.9** na primeira campanha e **tabela 5.10** na segunda campanha, as correlações são classificadas como:

- Não Significativas (“ns” ao nível superior a 5%)
- Significativas (“*” ao nível de 5%)
- Muito Significativas (“***” ao nível de 1%)

Quanto às correlações, vale informar que foram verificadas correlações positivas ($0 < \rho < 1$); e correlações negativas ($-1 < \rho < 0$). A qualidade das correlações foi classificada em 5 (cinco) categorias, de acordo com as seguintes faixas de valores de ρ :

- Correlação Muito Fraca: positiva ($0 < \rho < 0,2$) ou negativa ($-0,2 < \rho < 0$)
- Correlação Fraca: positiva ($0,2 < \rho < 0,4$) ou negativa ($-0,4 < \rho < -0,2$)
- Correlação Moderada: positiva ($0,4 < \rho < 0,7$) ou negativa ($-0,7 < \rho < -0,4$)
- Correlação Forte: positiva ($0,7 < \rho < 0,9$) ou negativa ($-0,9 < \rho < -0,7$)
- Correlação Muito Forte: positiva ($\rho > 0,9$) ou negativa ($\rho < -0,9$)

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos o panorama das correlações no período chuvoso (abril de 2012), conforme **tabela 5.9**, é o seguinte:

- Cerca de 70,6% (96/136) das correlações são Não Significativas, dos tipos, muito fracas (67/136), fracas (22/136) e moderadas (7/136);
- As correlações Significativas satisfazem apenas 3,7% (5/136), sendo todas moderadas;
- As correlações Muito Significativas correspondem a 23,5% (32/136), sendo 2 muito fracas, 1 moderada, 17 fortes e 12 muito fortes.

Tabela 5.9 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – abril de 2012.

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coeficiente de Correlação ()	Significância
STD	Alcalinidade	-0,0688	ns
STD	HCO ₃	-0,0596	ns

Tabela 5.9 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação ()	Significância
STD	NO ₂	0	ns
STD	NO ₃	0,8613	**
STD	pH	0,0782	ns
STD	Eh	0,1337	ns
STD	NH ₃	0,1615	ns
STD	CO ₃	0,1615	ns
STD	Fe	0,2463	ns
SO ₄	Eh	-0,1754	ns
SO ₄	HCO ₃	0,7221	**
SO ₄	Alcalinidade	0,7477	**
SO ₄	NO ₃	-0,1484	ns
SO ₄	Fe	0,0002	ns
SO ₄	NO ₂	-	-
SO ₄	NH ₃	0,9127	**
SO ₄	CO ₃	0,9127	**
SO ₄	STD	0,1256	ns
SO ₄	CE	0,267	ns
SO ₄	pH	0,3052	ns
pH	Eh	-0,8806	**
pH	NO ₂	-0,0731	**
pH	NO ₃	-0,1439	ns
pH	Fe	-0,0168	ns
pH	NH ₃	0,311	ns
pH	CO ₃	0,311	ns
pH	HCO ₃	0,3962	ns
pH	Alcalinidade	0,4824	ns
NO ₃	HCO ₃	-0,3544	ns
NO ₃	NH ₃	-0,1586	ns
NO ₃	CO ₃	-0,1585	ns
NO ₃	Fe	0,0442	ns
NO ₂	NH ₃	-0,1509	**
NO ₂	NO ₃	0	ns
NO ₂	CO ₃	0	ns
NO ₂	HCO ₃	0	ns
NO ₂	Fe	-	-

Tabela 5.9 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (r)	Significância
NH ₃	HCO ₃	0,6229	*
NH ₃	Fe	0,0039	ns
NH ₃	CO ₃	1	**
Na	NO ₂	-0,986	**
Na	Alcalinidade	-0,1917	ns
Na	HCO ₃	-0,1693	ns
Na	K	0,7826	**
Na	pH	0,0255	ns
Na	NH ₃	0,0299	ns
Na	CO ₃	0,0299	ns
Na	SO ₄	0,036	ns
Na	NO ₃	0,8724	**
Na	Ca	0,0848	ns
Na	Cl	0,9501	**
Na	CE	0,9531	**
Na	Eh	0,1573	ns
Na	Fe	0,2933	ns
Na	STD	0,9776	**
Na	Mg	0,4563	ns
Mg	SO ₄	-0,2201	ns
Mg	STD	0,5239	*
Mg	NH ₃	-0,154	ns
Mg	CO ₃	-0,154	ns
Mg	NO ₂	0	ns
Mg	NO ₃	0,5578	*
Mg	pH	0,0194	ns
Mg	Alcalinidade	0,0303	ns
Mg	HCO ₃	0,11	ns
Mg	Eh	0,1213	ns
Mg	Fe	0,1985	ns
Mg	Cl	0,292	ns
Mg	CE	0,4822	ns
K	Cl	0,6854	**
K	NO ₂	-	-
K	NO ₃	0,7576	**
K	NH ₃	-0,0494	ns

Tabela 5.9 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (r)	Significância
K	CO ₃	-0,0493	ns
K	Alcalinidade	-0,0448	ns
K	CE	0,7959	**
K	STD	0,809	**
K	SO ₄	-0,0134	ns
K	pH	0,0382	ns
K	Ca	0,0695	ns
K	HCO ₃	0,0718	ns
K	Eh	0,091	ns
K	Fe	0,4496	ns
K	Mg	0,6367	*
Fe	CO ₃	0,0041	ns
Fe	HCO ₃	0,0895	ns
Eh	Alcalinidade	-0,5055	ns
Eh	HCO ₃	-0,4297	ns
Eh	NH ₃	-0,1459	ns
Eh	CO ₃	-0,1459	ns
Eh	Fe	-0,1134	ns
Eh	NO ₂	0	ns
Eh	NO ₃	0,3882	ns
CO ₃	HCO ₃	0,6229	*
Cl	Alcalinidade	-0,2707	ns
Cl	HCO ₃	-0,2499	ns
Cl	pH	-0,036	ns
Cl	NO ₂	0	ns
Cl	NO ₃	0,8094	**
Cl	NH ₃	0,0325	ns
Cl	CO ₃	0,0325	ns
Cl	CE	0,8939	**
Cl	STD	0,9052	**
Cl	SO ₄	0,0776	ns
Cl	Eh	0,2105	ns
Cl	Fe	0,3018	ns
CE	NO ₂	0	ns
CE	NO ₃	0,8163	**
CE	Alcalinidade	0,0413	ns

Tabela 5.9 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (r)	Significância
CE	HCO ₃	0,0463	ns
CE	Eh	0,0992	ns
CE	pH	0,115	ns
CE	NH ₃	0,2867	ns
CE	CO ₃	0,2867	ns
CE	Fe	0,292	ns
CE	STD	0,9852	**
Ca	HCO ₃	0,708	**
Ca	Eh	-0,2241	ns
Ca	NO ₃	-0,1129	ns
Ca	Alcalinidade	0,8058	**
Ca	NO ₂	0	ns
Ca	Mg	0,0132	ns
Ca	SO ₄	0,8819	**
Ca	Cl	0,0432	ns
Ca	Fe	0,0575	ns
Ca	STD	0,2326	ns
Ca	NH ₃	0,9769	**
Ca	CO ₃	0,9769	**
Ca	CE	0,3535	ns
Ca	pH	0,391	ns
Alcalinidade	NO ₃	-0,4267	ns
Alcalinidade	NH ₃	0,7297	**
Alcalinidade	CO ₃	0,7297	**
Alcalinidade	NO ₂	0	ns
Alcalinidade	Fe	0,0672	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,963	**

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$).

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se, como demonstra a **tabela 5.10**, que:

- A maioria das correlações (102/136), o que equivale a 75% são Não Significativas, classificadas como muito fracas (64), fracas (33) e moderadas (5);

- As correlações Significativas equivalem a 6,6% (9/136), sendo todas moderadas;
- Existem 15,4% (21/136) de correlações Muito Significativas, das quais 1 é do tipo fraca, 7 moderadas, 8 fortes e 5 muito fortes.

Tabela 5.10 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga – outubro de 2012.

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (r)	Significância
STD	Eh	-0,2538	ns
STD	CO ₃	-0,1663	ns
STD	NO ₂	0	ns
STD	Fe	0,0126	ns
STD	HCO ₃	0,0487	ns
STD	Alcalinidade	0,0694	ns
STD	NO ₃	0,629	*
STD	pH	0,132	ns
STD	NH ₃	0,1882	ns
SO ₄	CO ₃	-0,1011	ns
SO ₄	Fe	-0,0982	ns
SO ₄	Eh	-0,0767	ns
SO ₄	NO ₃	-0,0302	ns
SO ₄	NO ₂	-	-
SO ₄	NH ₃	0,895	**
SO ₄	pH	0,047	ns
SO ₄	HCO ₃	0,273	ns
SO ₄	Alcalinidade	0,3119	ns
SO ₄	STD	0,3933	ns
SO ₄	CE	0,4176	ns
pH	HCO ₃	-0,1677	ns
pH	Alcalinidade	-0,1516	ns
pH	Fe	-0,1207	ns
pH	Eh	-0,0232	ns
pH	NO ₃	-0,0022	ns
pH	NO ₂	0	ns
pH	NH ₃	0,2579	ns
pH	CO ₃	0,3663	ns
NO ₃	HCO ₃	-0,5036	ns
NO ₃	CO ₃	-0,2699	ns
NO ₃	Fe	-0,2317	ns
NO ₃	NH ₃	-0,1259	ns
NO ₂	Fe	-0,8451	**
NO ₂	NH ₃	-0,4438	**

Tabela 5.10 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (r)	Significância
NO ₂	NO ₃	-0,1415	**
NO ₂	CO ₃	0	ns
NO ₂	HCO ₃	0	ns
NH ₃	Fe	-0,1211	ns
NH ₃	CO ₃	-0,101	ns
NH ₃	HCO ₃	0,1742	ns
Na	NO ₂	-	-
Na	Fe	-0,2777	ns
Na	NO ₃	0,6426	**
Na	K	0,5723	*
Na	Eh	-0,1018	ns
Na	CO ₃	-0,0655	ns
Na	CE	0,8608	**
Na	STD	0,8745	**
Na	HCO ₃	-0,0058	ns
Na	Alcalinidade	-0,0025	ns
Na	NH ₃	0,2061	ns
Na	Ca	0,3135	ns
Na	Cl	0,9132	**
Na	pH	0,3177	ns
Na	SO ₄	0,3567	ns
Na	Mg	0,4318	ns
Mg	Eh	-0,494	ns
Mg	NH ₃	-0,2857	ns
Mg	Cl	0,5516	*
Mg	STD	0,6563	**
Mg	SO ₄	-0,1389	ns
Mg	pH	-0,026	ns
Mg	CE	0,6286	*
Mg	CO ₃	-0,0163	ns
Mg	NO ₂	0	ns
Mg	NO ₃	0,1923	ns
Mg	Fe	0,2208	ns
Mg	Alcalinidade	0,3132	ns
Mg	HCO ₃	0,3258	ns
K	NH ₃	-0,2758	ns
K	Eh	-0,2737	ns
K	Cl	0,6471	**
K	NO ₂	-	-
K	pH	-0,2223	ns
K	NO ₃	0,6707	**

Tabela 5.10 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (r)	Significância
K	CO ₃	-0,1211	ns
K	STD	0,778	**
K	Mg	0,6272	*
K	CE	0,7919	**
K	Ca	-0,0227	ns
K	SO ₄	-0,0172	ns
K	Alcalinidade	0,0224	ns
K	HCO ₃	0,024	ns
K	Fe	0,1765	ns
Fe	CO ₃	-0,0288	ns
Fe	HCO ₃	0,158	ns
Eh	HCO ₃	-0,2985	ns
Eh	Alcalinidade	-0,2564	ns
Eh	Fe	-0,2178	ns
Eh	CO ₃	-0,0177	ns
Eh	NO ₂	0	ns
Eh	NH ₃	0,1321	ns
Eh	NO ₃	0,16	ns
CO ₃	HCO ₃	0,3849	ns
Cl	NO ₂	-0,5573	**
Cl	CO ₃	-0,2464	ns
Cl	Eh	-0,2333	ns
Cl	Fe	-0,1739	ns
Cl	NO ₃	0,5771	*
Cl	HCO ₃	-0,0978	ns
Cl	Alcalinidade	-0,0704	ns
Cl	CE	0,9063	**
Cl	NH ₃	0,138	ns
Cl	pH	0,1739	ns
Cl	STD	0,92	**
Cl	SO ₄	0,3536	ns
CE	Eh	-0,2979	ns
CE	NO ₃	0,6436	**
CE	CO ₃	-0,1649	ns
CE	NO ₂	0	ns
CE	Fe	0,0128	ns
CE	HCO ₃	0,047	ns
CE	Alcalinidade	0,0648	ns
CE	pH	0,1058	ns
CE	NH ₃	0,1911	ns
CE	STD	0,9947	**

Tabela 5.10 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga - outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (r)	Significância
Ca	Eh	-0,3035	ns
Ca	NO ₃	-0,191	ns
Ca	NO ₂	-	-
Ca	HCO ₃	0,6082	*
Ca	Fe	-0,0756	ns
Ca	NH ₃	0,7977	**
Ca	SO ₄	0,8779	**
Ca	CO ₃	0,0852	ns
Ca	pH	0,0854	ns
Ca	Mg	0,1017	ns
Ca	Cl	0,2522	ns
Ca	Alcalinidade	0,6307	*
Ca	STD	0,3625	ns
Ca	CE	0,3869	ns
Alcalinidade	NO ₃	-0,513	*
Alcalinidade	NO ₂	0	ns
Alcalinidade	Fe	0,1365	ns
Alcalinidade	NH ₃	0,2167	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,9768	**
Alcalinidade	CO ₃	0,4246	ns

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$).

Conclusão sobre as correlações nas duas campanhas

Das 136 correlações de parâmetros químicos apresentadas em cada uma das campanhas, conforme **tabelas 5.9 e 5.10**, verifica-se que em termos médios 72,8% são Não Significativas. As correlações Significativas representam apenas 5,2% do total, enquanto que as correlações Muito Significativas, resultantes do Teste t ao nível de 1%, correspondem a 19,5% do total.

As correlações existentes entre Na (sódio), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), CE (condutividade elétrica) e STD (sólidos totais dissolvidos) indicam influência do intemperismo químico, por conta da baixa presença de íons, haja vista que os seus teores foram encontrados em poucas quantidades, o que corrobora com a ideia de que esses elementos foram liberados há anos ao longo da interação água x rocha, e que se apresentam extremamente diluídos devido a elevada precipitação associada a constante renovação das águas na planície amazônica.

Os parâmetros Na (sódio), K (potássio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica), STD (sólidos totais dissolvidos), NO₃ (nitrato), NH₃ (amônia) e SO₄

(sulfato), apresentaram correlação entre si, o que sugere poluição nas águas subterrâneas oriunda de atividade antrópica, principalmente lançamento de esgoto *in natura*, haja vista que tais constituintes representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Além disso, as correlações altamente significativas envolvendo as variáveis, nitrato e amônia se devem principalmente ao contato das águas subterrâneas com as fossas negras, vazamento nas redes coletoras de esgoto e influência de rios próximos à área de captação dos poços. Tal justificativa é plausível na área de estudo, haja vista a ausência de esgotamento sanitário e a falta de proteção sanitária na instalação dos poços.

5.1.9 - Modelagem Geoestatística

Nas ciências da terra os dados são tipicamente distribuídos no espaço e/ou no tempo. O conhecimento do valor de um atributo (por exemplo, o teor de sódio), é de pouco ou nenhum interesse a menos que a data e o local da medida sejam conhecidos e possam ser incorporados à análise dos dados.

A interpretação dos dados hidrogeoquímicos obtidos através das análises realizadas pelo Laboratório da Bioagri Ambiental nas duas campanhas de amostragem sazonal levadas a efeito no ano de 2012, com intervalo de 6 (seis) meses, utilizará apenas estatísticas *univariadas*, sendo numa primeira etapa a *univariada temporal* e em seguida a *univariada espacial*, sendo essa última aplicada na elaboração dos mapas de zoneamento. Antes, porém, julga-se conveniente apresentar alguns conceitos geoestatísticos, segundo Goovaerts (1997), nos quais essa análise se baseia:

Terminologia

- **Atributo** - É uma propriedade física que pode ser um atributo *contínuo*, simbolizado por letras minúsculas, tais como, *z* ou *s*. Um exemplo é a concentração de uma substância dissolvida na água, medida numa escala quantitativa de valores (teor de sulfato). O atributo também pode ser de *categoria*, caso em que somente assume um limitado número de estados, por exemplo, tipos de rocha (sedimentar, metamórfica, etc) ou usos do solo (agricultura, pecuária, etc).
- **Variável** - Simbolizada por letras maiúsculas, tais como *Z* ou *S*, é definida como o conjunto de possíveis valores ou estados que o atributo *z* ou *s* pode assumir numa região *A* (área de estudo) em um local com vetor de posição ou de coordenadas *u*. Nesse último caso, a variável é expressa por $Z(\mathbf{u})$ ou $S(\mathbf{u})$.
- **Indivíduo** - O valor do atributo é medido em uma amostra física, por exemplo, uma amostra de água subterrânea coletada em um poço durante um estudo de campo. Na estatística univariada um atributo contínuo medido nessa amostra (teor de cálcio) é um indivíduo, interpretado como *um ponto*, sem levar em conta a sua localização no espaço.
- **População** - É definida como o conjunto das (infinitas) medidas do atributo de interesse, passíveis de serem realizadas na área de estudo. Já a coleção ou conjunto finito de valores (por exemplo, 15 valores)

medidos do atributo (teor de cálcio) é designado conjunto amostral ou simplesmente *amostra*.

- **Parâmetro** - Parâmetros são quantidades constantes de um modelo, por exemplo, o parâmetro ou estatística “*média*” de uma função de distribuição lognormal que modela um histograma.

Estatística Descritiva

Feições importantes de uma distribuição de frequência são o seu valor central e as medidas de seu desvio ou espalhamento e simetria. O valor central, nas distribuições ditas Normais (ou simétricas) é a média aritmética. Nas distribuições muito assimétricas o valor central é a mediana, que é o valor correspondente a uma frequência acumulada de 50%, isto é, o valor que separa a distribuição em duas metades: uma de valores mais baixos e uma de valores mais altos em relação à média.

Distribuição de frequência

Seja $\{z(\alpha), \alpha = 1, \dots, n\}$ o conjunto de medidas do atributo contínuo z nos n indivíduos α . Nesse contexto a posição real desses dados não é levada em conta. A distribuição de valores contínuos é tipicamente revelada por um histograma com a faixa de valores dos dados discretizada em certo número de classes de igual largura e a proporção relativa dos dados dentro de cada classe expressa pela altura das barras. Essas proporções relativas definem as frequências de classe e, portanto, o histograma reflete a distribuição de frequência dos z -valores para uma dada definição de classes.

Assim sendo, a modelagem dos histogramas de frequência dos conjuntos amostrais dos atributos medidos nas duas campanhas de coleta de água (período chuvoso e período seco), através de funções de distribuição de probabilidade permite avaliar com risco calculado os valores esperados de cada atributo de acordo com o período de coleta. Caso sejam constatadas diferenças, admite-se que elas seguramente serão indicativas de influências da sazonalidade. Detalhes complementares são fornecidos no texto que segue, visando justificar o procedimento adotado neste trabalho.

Descrição Espacial e Temporal Univariada

Na estatística clássica os valores de dados observados são supostos aleatórios e não existe correlação entre eles. Na geoestatística admite-se que o campo das medidas (região A) é *estatisticamente estacionário*, o que equivale a dizer que a diferença entre os valores medidos entre dois pontos só depende da distância entre eles, tendo-se como paradigma que valores de atributos em pontos mais próximos são mais semelhantes do que valores em pontos mais afastados.

Este é o paradigma da técnica de inferência conhecida por *krigagem*, que permite modelar a autocorrelação em função da distância. Assim, dentro de uma região A para cada posição $u \in A$, o valor do atributo ambiental $Z(u)$ é modelado como uma variável aleatória (Deutsch & Journel, 1998; Felgueiras, 1999). Na modelagem geoestatística a variável aleatória $Z(u)$ pode assumir diferentes valores para o atributo e, cada um deles, com uma probabilidade de

ocorrência associada. Nas posições amostradas $\mathbf{u}_\alpha, \alpha=1,2,\dots,n$ os valores $z(\mathbf{u}_\alpha)$ são considerados determinísticos ou, ainda, podem ser considerados como variáveis aleatórias cujo valor medido tem uma probabilidade de 100% de ocorrer. Nas posições não amostradas a incerteza associada aos valores de $z(\mathbf{u})$ é modelada pela função de distribuição de probabilidade da variável aleatória $Z(\mathbf{u})$. Da mesma maneira os valores determinísticos $z(\mathbf{u}_\alpha)_t$ medidos nas duas campanhas, nos tempos t_1 (abril de 2012) e t_2 (outubro de 2012), estão associados aos valores desconhecidos $z(\mathbf{u},t)$, em uma data qualquer, cuja incerteza é modelada a partir dos respectivos histogramas de $z(\mathbf{u}_\alpha,t)$ pela função de distribuição de probabilidade da variável aleatória $Z(\mathbf{u},t)$. Assim é possível comparar com o mesmo nível de risco os valores esperados em ambos os conjuntos de dados correspondentes, respectivamente, ao período chuvoso e ao período seco.

5.1.10 – Modelagem Estatística de Parâmetros Físico-Químicos com Valores Abaixo do Limite de Detecção

Sem dados numéricos, não é possível descrever a estatística nem construir histogramas de frequência para modelagem geoestatística da lei de distribuição de probabilidade de um atributo. Na **tabela 5.11** se encontram os parâmetros físico-químicos analisados em Tabatinga, os limites de detecção (LD) e os valores numéricos ligeiramente menores adotados como aproximação dos LD, para permitir a descrição estatística e a modelagem geoestatística dos resultados obtidos.

Tabela 5.11 – Parâmetros analisados, limites de detecção (LD) e valores numéricos adotados para estatística descritiva dos resultados das coletas no aquífero Aluvial nas duas campanhas.

Parâmetros analisados	Unidade	LD (mg/L)	Valor Numérico Adotado nas estatísticas
Cor	uH	< 5	4,9
Turbidez	NTU	< 0,1	0,09
Condutividade elétrica	$\mu\text{S/cm}$	-	-
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	-	-
STD	mg/L	< 5	4,9
Alcalinidade Total	mg/L	< 5	4,9
pH	-	-	-
Eh	mV	-	-
Sódio	mg/L	< 0,01	0,009
Potássio	mg/L	< 0,001	0,0009

Tabela 5.11 – Parâmetros analisados, limites de detecção (LD) e valores numéricos adotados para estatística descritiva dos resultados das coletas no aquífero Aluvial nas duas campanhas (Continuação).

Parâmetros analisados	Unidade	LD (mg/L)	Valor Numérico Adotado nas estatísticas
Cálcio	mg/L	< 0,01	0,009
		< 0,001	0,0009
Magnésio	mg/L	-	-
Cloro	mg/L	< 0,5	0,49
		< 1	0,9
		< 2	1,9
Sulfato	mg/L	< 0,5	0,49
		< 1	0,9
Bicarbonato	mg/L	< 0,5	0,49
Dureza	mg/L	< 5,0	4,9
Nitrato	mg/L	< 0,1	0,09
		< 0,2	0,19
Nitrito	mg/L	< 0,02	0,019
		< 0,01	0,009
		< 0,04	0,039
Amônia (Nitrogênio Amoniacal)	mg/L	< 0,1	0,09
Nitrogênio Orgânico	mg/L	< 0,1	0,09
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	< 0,1	0,09
Nitrogênio Total	mg/L	< 0,5	0,49
Ferro	mg/L	< 0,001	0,0009
		< 0,0001	0,00009
Manganês	mg/L	< 0,001	0,0009
		< 0,0001	0,00009
Índice de fenóis	mg/L	< 0,001	0,0009
Bário	mg/L	< 0,001	0,0009
Níquel	mg/L	< 0,001	0,0009
Zinco	mg/L	< 0,001	0,0009
Cádmio	mg/L	< 0,001	0,0009
Chumbo	mg/L	< 0,001	0,0009
Cobre	mg/L	< 0,001	0,0009
Cromo	mg/L	< 0,001	0,0009
Mercúrio	mg/L	< 0,0001	0,00009
Arsênio	mg/L	< 0,001	0,0009
Benzeno	mg/L	< 0,001	0,0009
Tolueno	mg/L	< 0,001	0,0009
Etilbenzeno	mg/L	< 0,001	0,0009
o-Xileno	mg/L	< 0,001	0,0009
m,p-Xilenos	mg/L	< 0,002	0,0019
E.Coli	Presente = 1 e Ausente = 0	-	-
C. Totais		-	-

No que se refere, por exemplo, ao parâmetro Cor, os resultados obtidos em Tabatinga no período seco mostraram em 100% (15/15) das amostras coletadas, valores de cor < 5 uH, ou seja, inferiores ao LD (**tabela 5.12**). Dessa forma, para fins de realização da estatística descritiva o resultado

desconhecido (< 5) foi substituído por um valor numérico próximo (no caso, 4,9), que atende matematicamente a condição apresentada na análise, embora o verdadeiro valor do parâmetro seja desconhecido (**tabela 5.13**).

Com 100% de valores de cor abaixo do LD, os parâmetros média, mediana, mínimo, máximo, são todos iguais a 4,9 uH. Assim, o erro amostral é nulo, ou seja, $(\bar{X} - \mu) = 0$ indicando que a média da amostra é igual à média da população. O desvio padrão σ , o erro padrão e a assimetria são nulos. Logo, a variável reduzida $Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma}$ da fdp (função de distribuição de probabilidade normal) fica indeterminada, como mostra a equação que segue:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma} = \frac{0}{0}$$

Notar que, como só existe um valor, não há necessidade de um histograma de frequência para ajuste da lei de distribuição de probabilidade, já que todos os valores são conhecidos e determinados.

Tabela 5.12 – Estatística descritiva com 100% de valores abaixo do limite de detecção da cor, substituídos por um valor numérico.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Cor-1	30	4,9	4,9-1,01E-15	4,9+1,01E-15	4,9	4,9	4,9	2,7E-15	4,9E-16	-1,05

Tabela 5.13 – Distribuição de probabilidade da cor para 100% de valores abaixo do limite de detecção, substituídos por um valor numérico.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9

A modelagem geoestatística concebida para avaliar o efeito da sazonalidade apresentou em alguns parâmetros um viés ou bias estatístico, que se caracteriza pela indicação de duas tendências de sazonalidade (seco e chuvoso), com diferentes riscos. Por exemplo, a turbidez em Tabatinga, apresentou com 50, 20, 10 e 5% de risco, maior valor no período chuvoso e com riscos de 2 e 1%, maior valor no período seco. Nesses casos, o modelo é inconclusivo, e assim se utilizou os dados de média, mediana e desvio padrão para justificar se o parâmetro sofre ou não efeito sazonal, entendido como fenômeno natural atuante sobre as águas subterrâneas.

5.2 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do aquífero Aluvial

Os resultados analíticos físico-químicos das amostras de água subterrânea coletadas em Tabatinga nas duas campanhas de campo: abril de 2012 (fim do período chuvoso) e outubro de 2012 (fim do período de estiagem) são apresentados, respectivamente, nos **anexos 7.2.1 e 7.2.2**.

5.2.1 - Cor

A cor indica principalmente a presença de metais (Fe, Mn), ácidos húmicos (matéria oriunda da degradação de matéria de origem vegetal), plâncton (conjunto de plantas e animais microscópicos em suspensão nas águas) dentre outras substâncias dissolvidas na água.

Para consumo humano, segundo a Portaria do Ministério da Saúde - MS 2914/2011, o valor máximo permitido (VMP) para cor é 15 uH – Unidade Hazen (mgPt-Co/L). Na cidade de Tabatinga, em ambas as campanhas, nenhuma das amostras ultrapassou o VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011.

Os resultados obtidos em Tabatinga no período chuvoso mostraram em 93% (14/15) das amostras coletadas, valores de cor < 5,0, ou seja, inferiores ao LD (limite de detecção); enquanto que no período de estiagem, 100% (15/15) das amostras apresentaram resultados inferiores a 5.

A estatística descritiva da cor apresentada na **tabela 5.14** variou no ano de 2012, de 4,9 a 5,0 uH no período chuvoso, com média de 4,91 e mediana de 4,9 uH. No período seco todas as amostras apresentaram o valor de 4,9 uH, com média e mediana igual a 4,9 uH.

Tabela 5.14 – Estatística descritiva da Cor do aquífero Aluvial no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Cor-1	15	4,91	4,89	4,92	4,9	4,9	5,0	0,026	0,007	3,873
Cor-2	15	4,9	4,9-5,2E-16	4,9+5,2E-16	4,9	4,9	4,9	9,22E-16	2,4E-16	1,12

O histograma de frequência modelado no período chuvoso por uma Função de Distribuição de Probabilidade (fdp) lognormal, apresentado na **figura 5.7a** mostra que 93% dos valores são inferiores a 5,0 uH, ou seja, inferiores ao LD. O gráfico do período seco mostra que o erro amostral é praticamente nulo $\bar{X} - \mu = 0$, pois todos os valores são constantes, iguais a 4,9 uH, e portanto todos tem a mesma probabilidade (**figura 5.7b**).

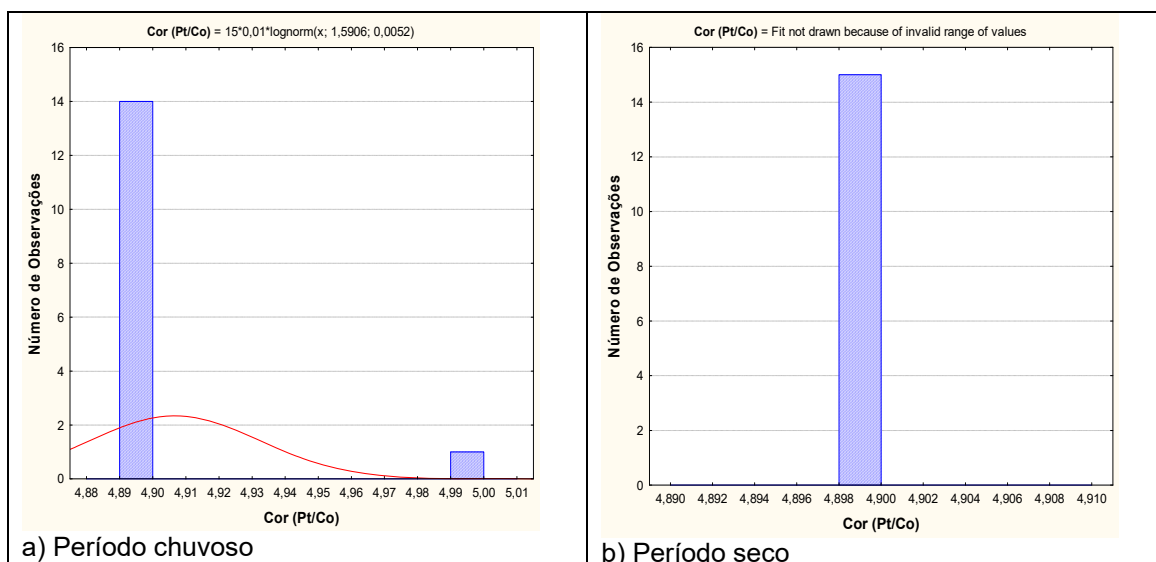


Figura 5.7 – Histograma de frequência no período chuvoso (abril de 2012) e curva lognormal de distribuição de probabilidade da Cor das águas do aquífero Aluvial. Gráfico do período seco (outubro de 2012), com todos os valores da amostra constantes (4,9 uH) .

O modelo de fdp ajustado ao histograma do período de estiagem sugere que o parâmetro cor tende a ser maior quando comparado ao período chuvoso (**tabela 5.15**). Entende-se que tal resultado não condiz com a realidade, pois quase todas as amostras, em ambas as campanhas, apresentaram valores

abaixo do limite de detecção. Portanto, admite-se que o parâmetro cor das águas subterrâneas no aquífero Aluvial, em Tabatinga, não sofre influência da sazonalidade, haja vista que isso é o comum na maioria das águas subterrâneas.

Tabela 5.15 – Distribuição de probabilidade da Cor da água do aquífero Aluvial no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	4,91	4,89	4,87	4,86	4,85	4,85
Cor-2	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
Razão	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99

5.2.2 – Turbidez

A turbidez está relacionada com a presença de argila, silte, substâncias orgânicas (por exemplo: húmus) ou inorgânicas (por exemplo: óxidos) finamente divididas, plâncton e algas, indicando o risco de entupimentos de filtros e tubulações. A água subterrânea nas condições em que circula no ambiente subterrâneo é praticamente isenta de turbidez. Valores altos de turbidez em águas subterrâneas coletadas por bombeamento, geralmente ocorrem em poços mal desenvolvidos e são devidos ao carreamento de partículas finas da formação geológica através dos filtros.

As unidades utilizadas para expressar a turbidez são: NTU (*Nefelometric Turbidity Unit*), FTU (*Formazin Turbidity Unit*) ou uT (Unidade de Turbidez), sendo essas unidades correspondentes 1:1 (Celligoi, 1999; Szikszay, 1993).

O VMP da turbidez para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, é igual a 5 uT (unidade de Turbidez). Nas amostras de água do aquífero Aluvial, em Tabatinga foram detectados valores de turbidez (uT) em 80% (12/15) das análises do período chuvoso e em 67% (10/15) das análises do período de estiagem. Nas demais amostras os valores ficaram abaixo do LD (limite de detecção), que é igual a 0,1.

Os valores detectados pela estatística descritiva (**tabela 5.16**) variaram de 0,09 a 4,7 uT, com mediana de 0,4 no período chuvoso; enquanto que no período seco, se distribuíram entre 0,09 a 2,8 uT, com mediana de 0,21 uT. Em ambas as campanhas nenhum dos poços apresentaram valores acima do VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011.

Tabela 5.16 – Estatística descritiva da Turbidez do aquífero Aluvial no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Tu-1	15	1,53	0,5	2,56	0,4	0,09	4,7	1,866	0,482	0,932
Tu-2	15	0,59	0,12	1,05	0,21	0,09	2,8	0,85	0,219	2,0539

Isso ocorre principalmente na época de cheias, onde a água da chuva que escoar pelo solo, carrega consigo sedimentos que permanecem em suspensão na água tornando-a mais turva, a qual entra em contato com as águas subterrâneas por meio dos poços mal protegidos.

Os histogramas de frequência de turbidez ilustrados na **figura 5.8** nos dois períodos de amostragem foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para turbidez com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.17**). Sendo assim, com base nos dados de média, mediana e valores máximos, observa-se que os valores de turbidez no período chuvoso são superiores quando comparados aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

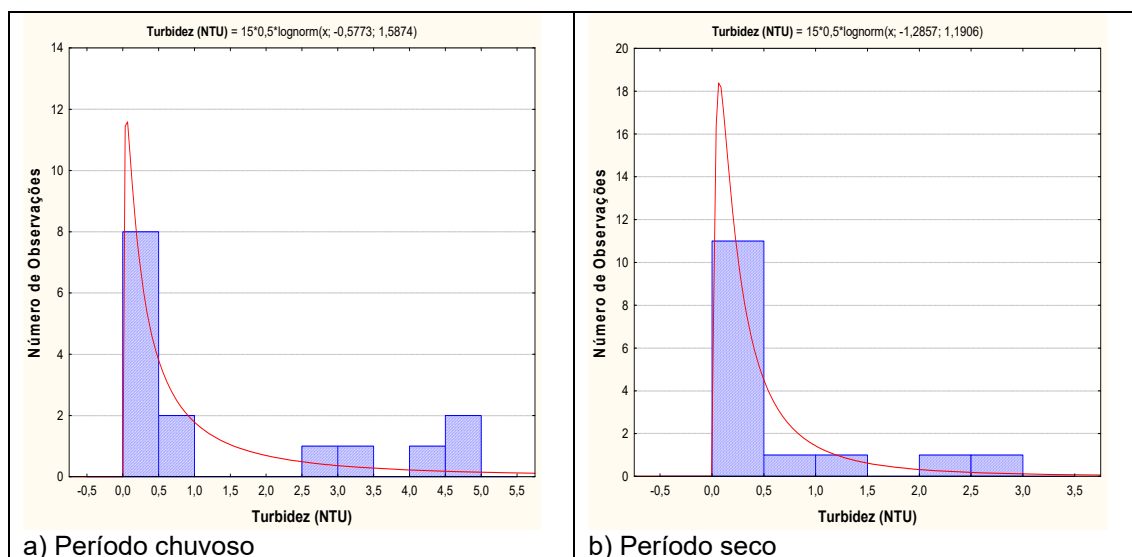


Figura 5.8 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Isto se deve ao fato de que no período chuvoso, as águas superficiais inundam a região e carregam sedimentos em suspensão, que devido a falta de proteção dos poços tubulares infiltram e contaminam as águas subterrâneas.

Tabela 5.17 – Distribuição de probabilidade da Turbidez do aquífero Aluvial no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Tu-1	0,5614	0,1476	0,0734	0,0412	0,0215	0,0140
Tu-2	0,2765	0,1015	0,0601	0,0390	0,0240	0,0173
Razão	2,03	1,45	1,22	1,06	0,90	0,81

Zoneamento da Turbidez

Considerando que os meios porosos granulares se constituem em filtros naturais e que a turbidez se deve essencialmente à presença de sólidos em suspensão, a elaboração do mapa de zoneamento da turbidez das águas do aquífero é do tipo pontual. Admite-se que a turbidez detectada nos pontos amostrados resulta principalmente do carreamento de partículas através dos filtros dos poços durante a coleta das amostras de água.

Nota-se que no período chuvoso (**figura 5.9a**) 20% (3/15) são valores abaixo do limite de detecção de 0,1 uT; 47% (7/15) são valores compreendidos entre 0,1 e 1 uT e os 33% (5/15) restantes são valores entre 1 e 5 uT.

No período de estiagem (**figura 5.9b**) o comportamento foi similar, 33% (5/15) das amostras apresentaram resultados de turbidez inferiores ao limite de detecção de 0,1 uT; e apenas 20% (3/15) apresentaram valores de turbidez entre 1 e 5 uT, o que é justificável pela redução de partículas em suspensão pela cessação do período de cheias.

Em ambas as campanhas, nenhum dos poços apresentaram teores de turbidez acima do VMP de 5 uT estabelecido pela Portaria MS 2914/2011.

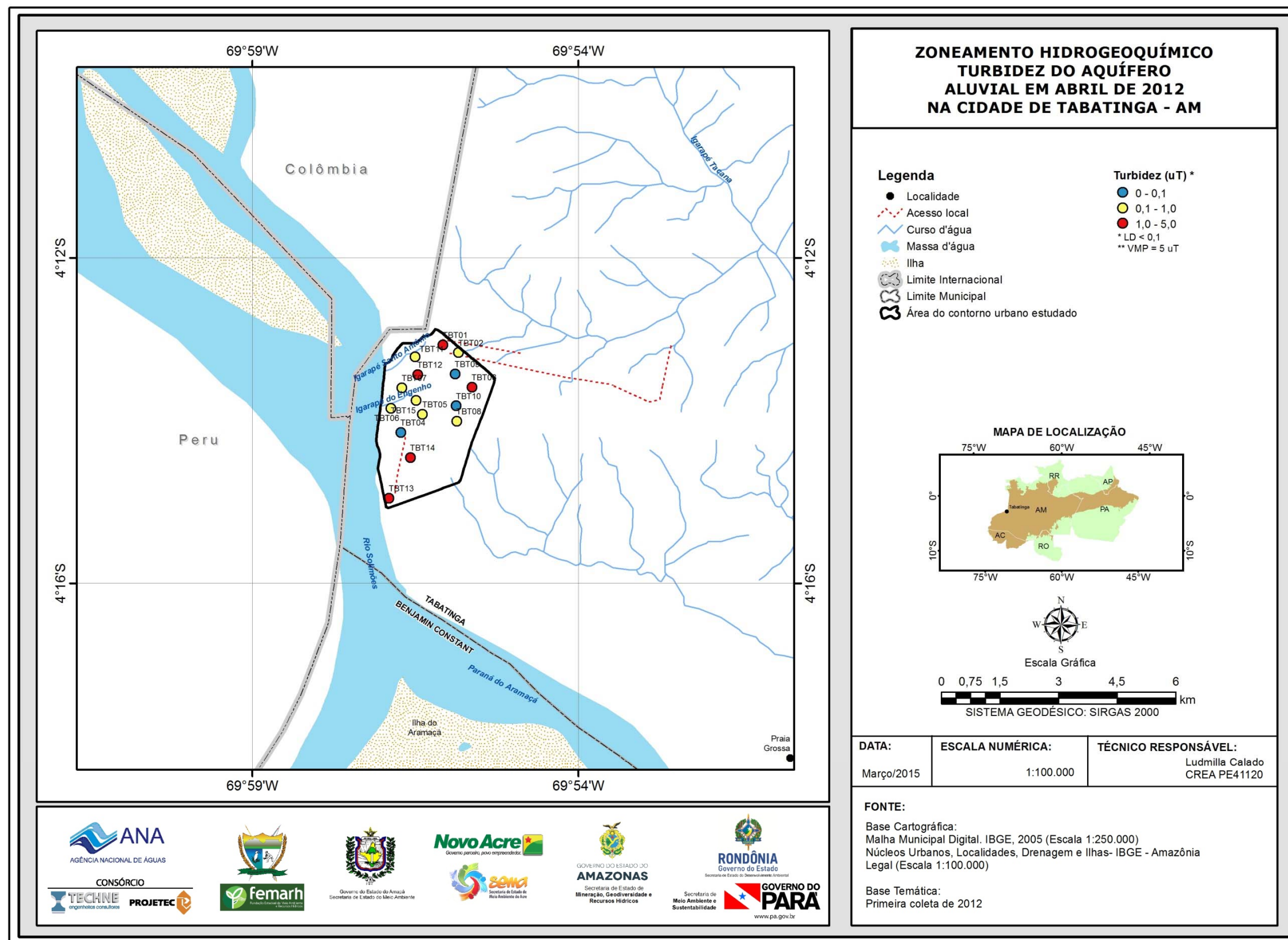


Figura 5.9a – Zoneamento de Turbidez das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

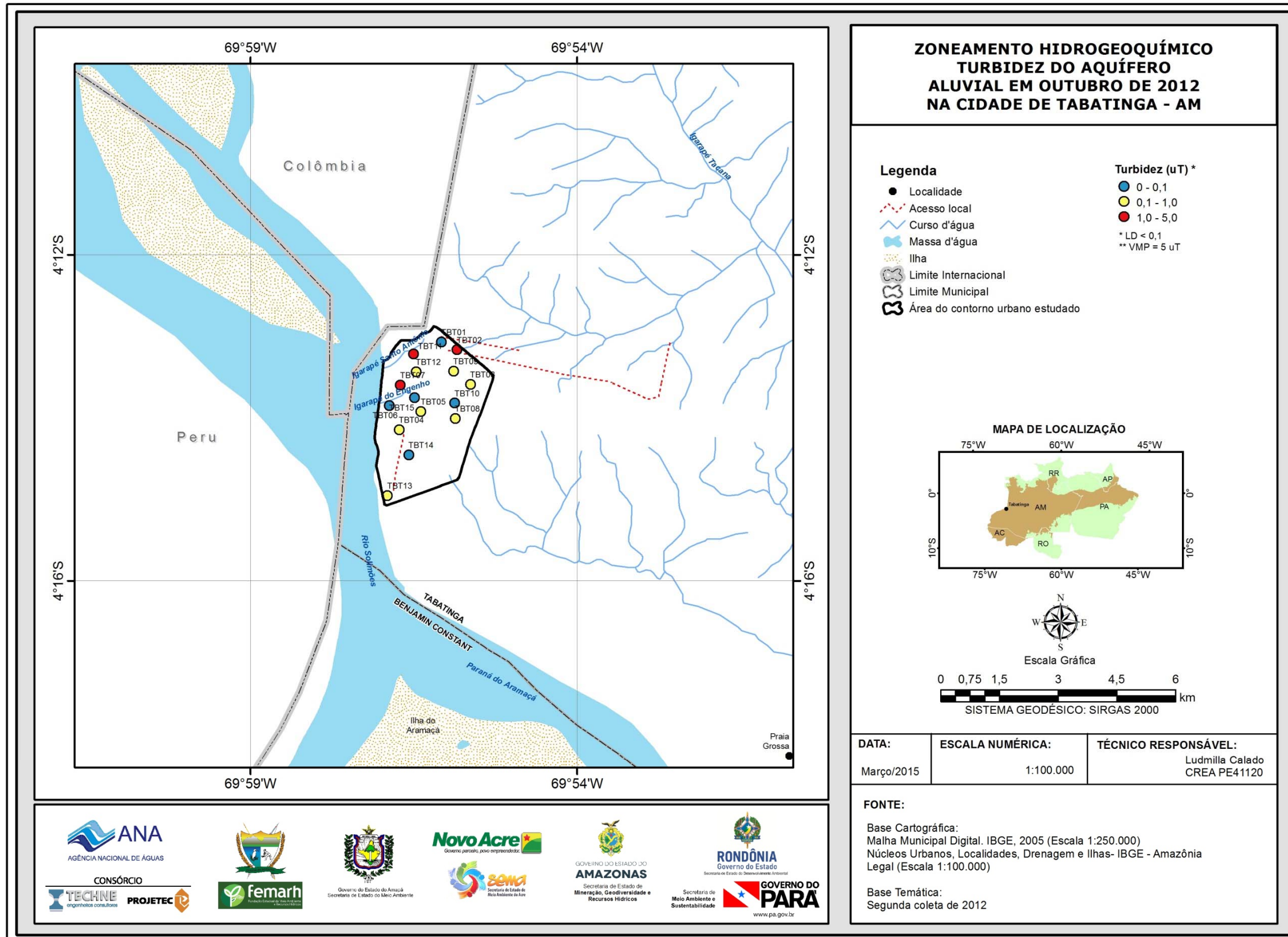


Figura 5.9b – Zoneamento de Turbidez das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica depende da quantidade de sais dissolvidos na água e, portanto, a sua medição permite estimar rapidamente a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) presentes na água, usando (por exemplo) uma relação do tipo $STD = aCE$, sendo “a” um coeficiente angular variável de aproximadamente 0,55 a 0,75.

A condutividade elétrica (CE) das águas do aquífero Aluvial, de acordo com a estatística descritiva (**tabela 5.18**), variou no ano de 2012 de 20 a 172 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso, com média de 65,33 e mediana de 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No período seco a variação entre o mínimo e o máximo foi de 19 a 167 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média igual a 73,07 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 66 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Observa-se que os valores de condutividade elétrica obtidos em Tabatinga são baixos, haja vista que em ambas as campanhas todos os resultados são inferiores a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tais dados são justificáveis, pois o clima da região amazônica associado à alta incidência de chuvas favorece a constante renovação das águas dos aquíferos e dos rios da região.

Tabela 5.18 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do aquífero Aluvial no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
CE-1	15	65,33	40,4	90,27	45	20	172	45,03	11,627	1,42
CE-2	15	73,07	48,86	97,28	66	19	167	43,72	11,288	0,8623

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; e água poluída, quando a CE é $> 10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Nesse caso, as águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potáveis.

Os histogramas de frequência da condutividade elétrica nos dois períodos de amostragem (ilustrados na **figura 5.10**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 5.19**) que os valores de CE estimados para o período de estiagem são maiores do que os do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Tais resultados são justificáveis, pois segundo Montenegro *et al.* (2001), a condutividade elétrica é influenciada pelas características pedológicas do solo, isto é, a região de maior concentração iônica coincide com a área em que a textura do solo é mais fina, reduzindo a lavagem de sais.

De acordo com Andrade *et al.* (2012), valores elevados de condutividade elétrica sinalizam que na área ocorre concentração de sais, tanto no solo quanto na água subterrânea.

Desse modo, é possível dizer que os valores de CE mais elevados no aquífero Aluvial no período de estiagem se devem provavelmente a maior presença de sódio, potássio e magnésio, tanto no solo quanto na água subterrânea, haja

vista que tais elementos se apresentaram em maiores quantidades na segunda campanha de amostragem.

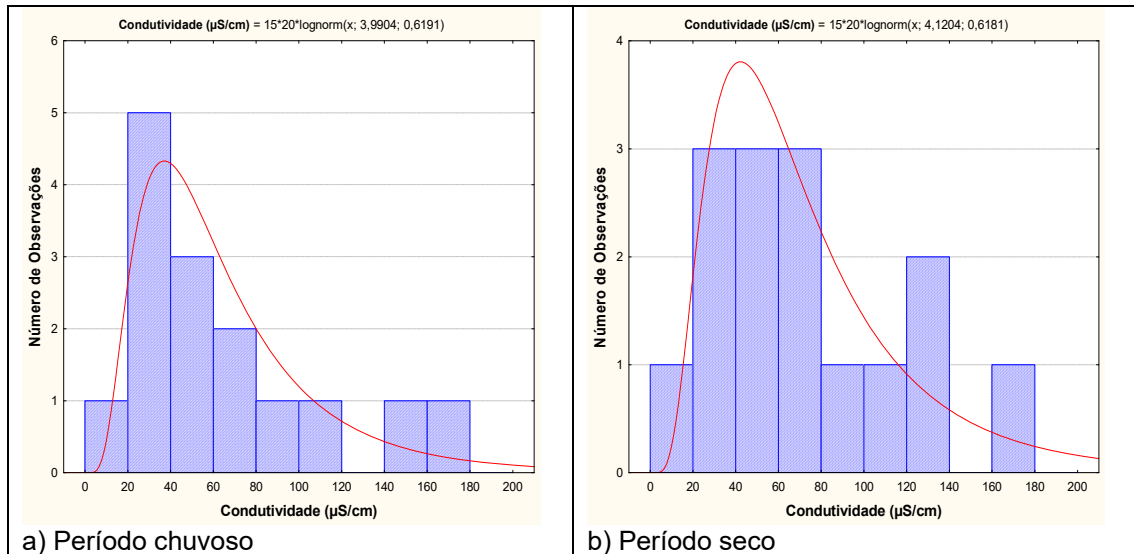


Figura 5.10 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica (CE) do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Aliado a isso, Silva *et al.* (2000) destacam que a condutividade elétrica de uma solução é proporcional à concentração de todos os íons presentes e se eleva com a temperatura. Dessa forma, observa-se que as maiores medições de condutividade elétrica ocorreram no período seco, onde as temperaturas foram mais elevadas.

Tabela 5.19 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do aquífero Aluvial no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CE-1	54,07652	32,11593	24,45883	19,53233	15,164	12,80913
CE-2	61,58387	36,60533	27,89013	22,28059	17,30469	14,62137
Razão	0,878	0,877	0,877	0,877	0,876	0,876

Zoneamento de Condutividade Elétrica

De acordo com a distribuição espacial da condutividade elétrica apresentada na **figura 5.11a** e na **figura 5.11b** para o período chuvoso e de estiagem, respectivamente, é possível verificar que em ambas as coletas, a classe mais frequente é de 0 a 50 $\mu\text{S/cm}$, enquanto que os valores mais altos, superiores a 100 $\mu\text{S/cm}$ se restringem a pontos isolados.

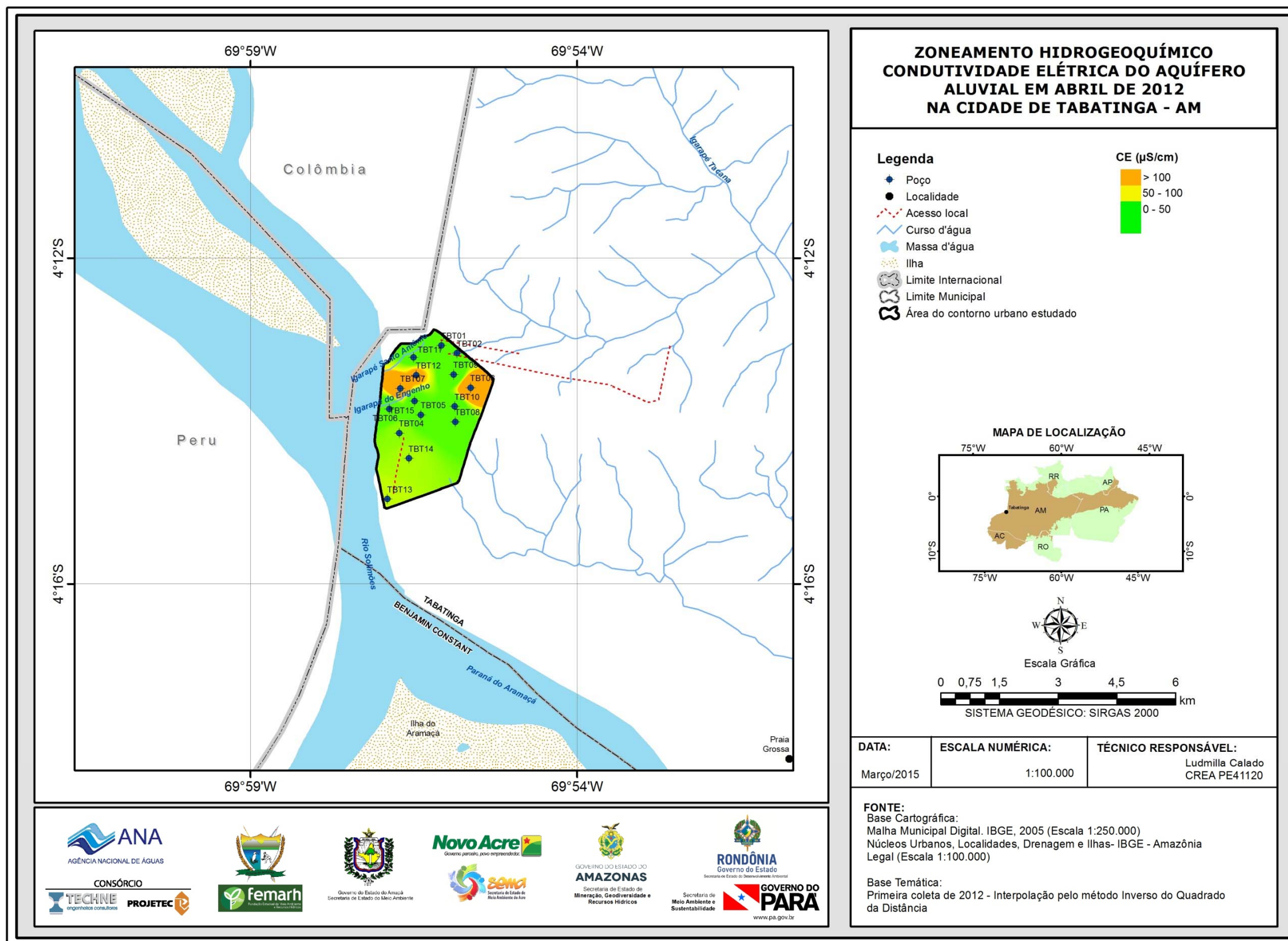


Figura 5.11a – Zoneamento de Condutividade Elétrica das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga – AM.

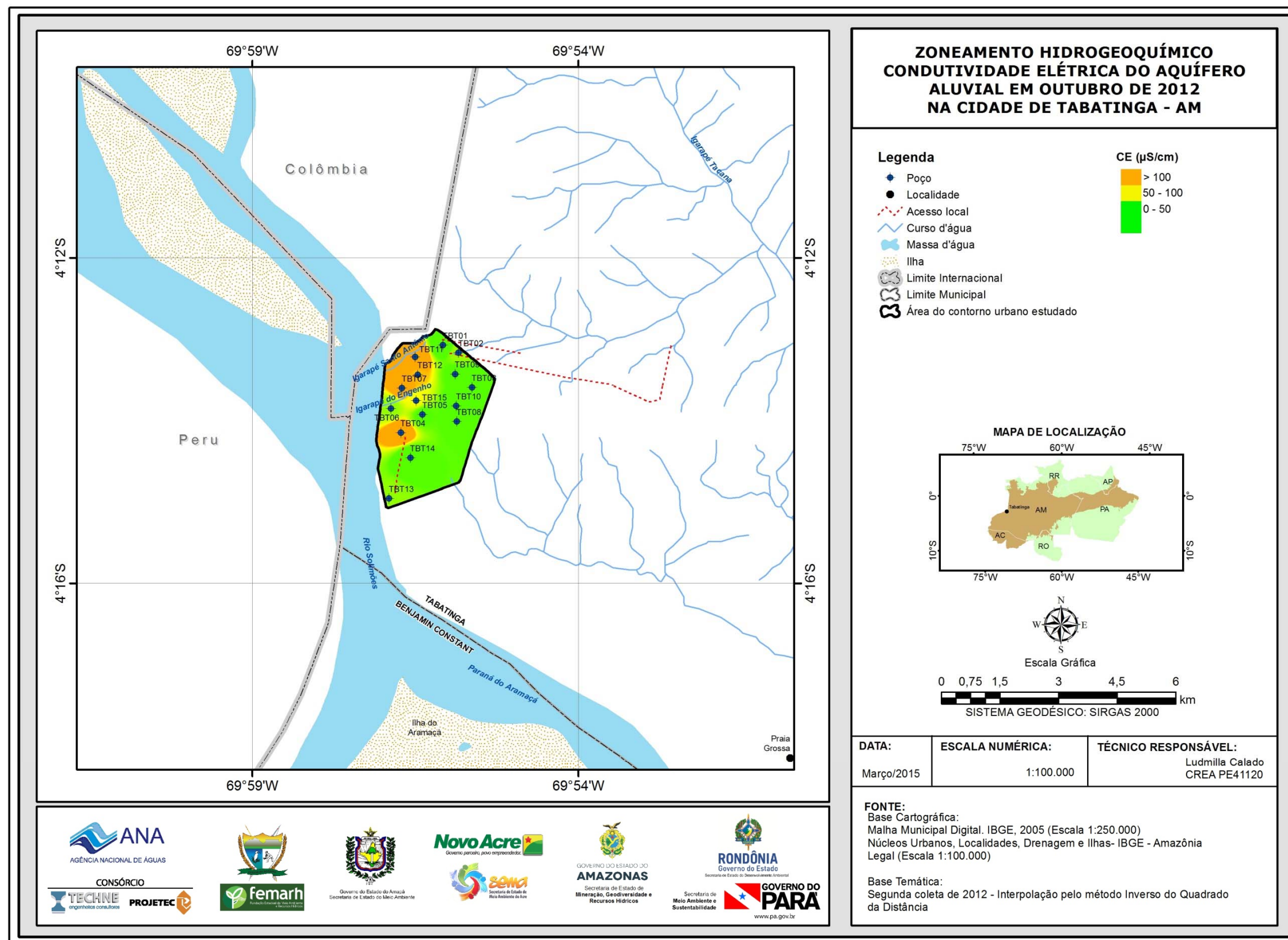


Figura 5.11b – Zoneamento de Condutividade Elétrica das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.4 – Temperatura

A estatística descritiva da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga (**tabela 5.20**) indica que no período chuvoso a temperatura das águas coletadas no aquífero variou de 25,85°C a 28,25°C, apresentando uma amplitude térmica de 2,4°C. No período de estiagem as temperaturas foram mais altas, variando de 26°C a 33,5°C, com uma amplitude térmica bem maior, de 7,5°C. A média e a mediana no período chuvoso assumem respectivamente os valores de 27,17°C e 27,45°C, enquanto que no período seco, os respectivos valores são iguais a 28,5°C, caracterizando uma distribuição normal. Os valores máximos encontrados em ambos os períodos de coleta, possivelmente decorrem da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Aluvial são pouco profundas e influenciadas pelas águas superficiais.

Tabela 5.20 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do aquífero Alu

vial no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

T	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
T-1	15	27,17	26,7	27,64	27,45	25,85	28,25	0,849	0,219	-0,311
T-2	15	28,55	27,6	29,49	28,5	26	33,5	1,71	0,441	1,7231

Os histogramas de frequência da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, modelados por curvas normais de distribuição de probabilidade na amostragem do período chuvoso (abril de 2012) e do período de estiagem (outubro de 2012), são apresentados na **figura 5.12**.

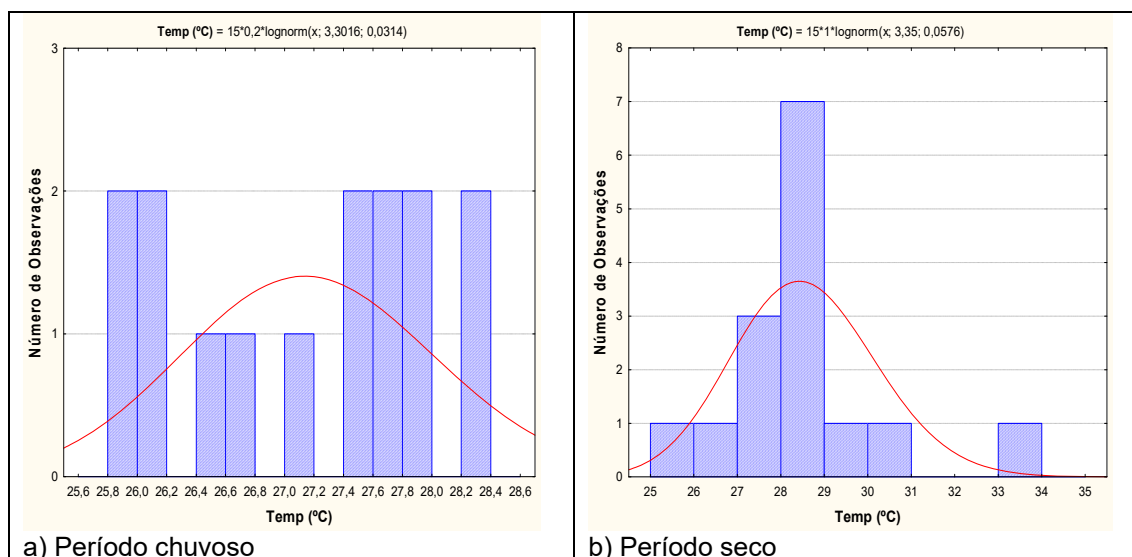


Figura 5.12 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados da **tabela 5.21** revelam um viés estatístico para temperatura com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística. Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que a temperatura no período

seco é maior do que a do período chuvoso, sugerindo que há influência da sazonalidade.

Tabela 5.21 – Distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do aquífero Aluvial no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
T-1	27,15605	26,4478	26,08497	25,78909	25,46009	25,2431
T-2	28,50273	27,15395	26,47452	25,92626	25,32277	24,92827
Razão	0,953	0,974	0,985	0,995	1,005	1,013

Zoneamento de Temperatura

A distribuição espacial da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, no período chuvoso de abril de 2012, ilustrada na **figura 5.13a**, é caracterizada em quase toda a área por valores nas faixas de classes de 25 a 27°C e 27 a 29°C. No período seco há um ligeiro aumento nos valores da temperatura, com a máxima chegando aos 33,5°C, com ampla distribuição de valores compreendidos entre 27 a 29°C e superiores a 29°C (**figura 5.13b**).

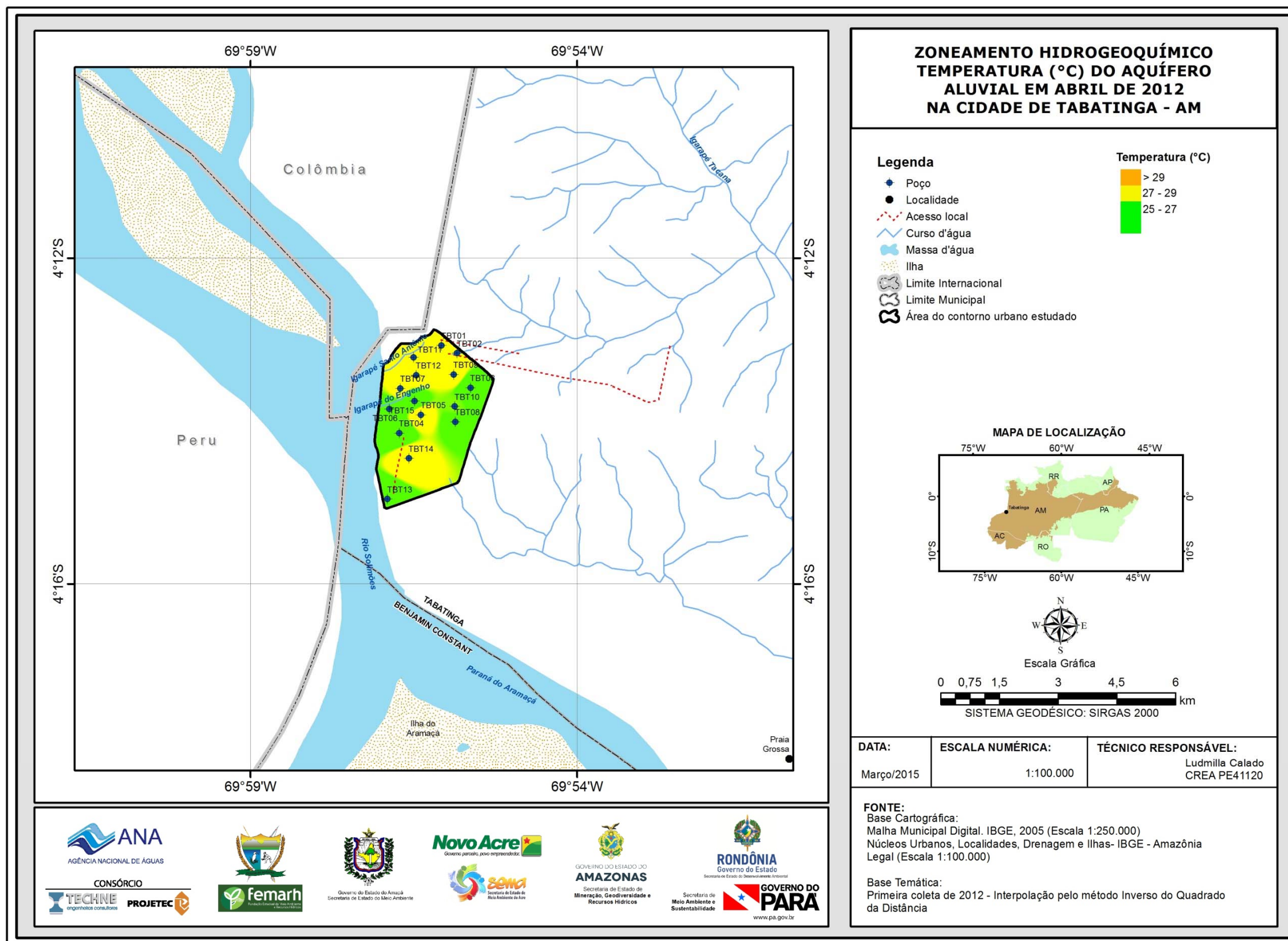


Figura 5.13a – Zoneamento de Temperatura (°C) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

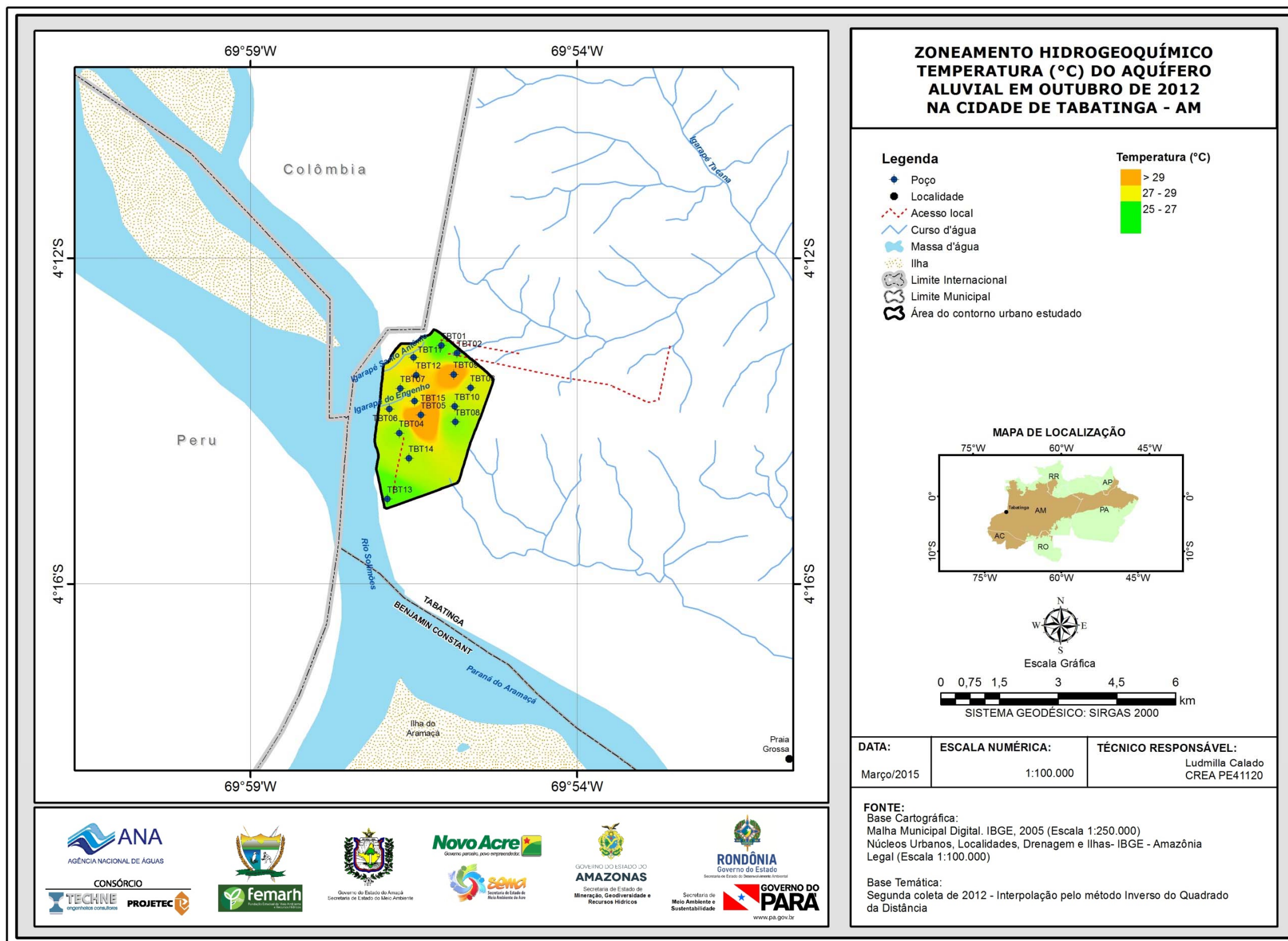


Figura 5.13b – Zoneamento de Temperatura (°C) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os sólidos totais dissolvidos correspondem à massa total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Na maioria das águas naturais, os sólidos totais dissolvidos (STD) se relacionam com a condutividade elétrica (CE) através de uma equação linear com coeficiente angular situado na faixa de 0,55 a 0,75. No caso do aquífero Aluvial, em Tabatinga, os dados desses parâmetros são apresentados na **tabela 5.22**.

Tabela 5.22 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM na primeira e na segunda campanha de amostragem.

Poço	Abril de 2012		Outubro de 2012	
	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)
TBT01	35	24	32	21
TBT02	49	32	69	50
TBT03	172	154	19	11
TBT04	65	57	137	97
TBT05	44	39	47	34
TBT06	26	19	67	53
TBT07	146	139	123	97
TBT08	40	25	47	34
TBT09	20	12	48	37
TBT10	36	28	39	29
TBT11	36	32	167	120
TBT12	112	80	107	76
TBT13	81	81	66	55
TBT14	73	62	31	20
TBT15	45	43	97	72

Na correlação linear estabelecida com os dados da **tabela 5.22**, os coeficientes angulares encontrados são, respectivamente, iguais a 0,93 no período chuvoso e 0,74 no período seco, como ilustrado na **figura 5.14**. Isso demonstra que nas águas do aquífero Aluvial, existe uma forte correlação linear entre STD e CE, conforme revelam os valores dos coeficientes de determinação da regressão (R^2), respectivamente iguais a 0,97 no período chuvoso e 0,99 no período de estiagem.

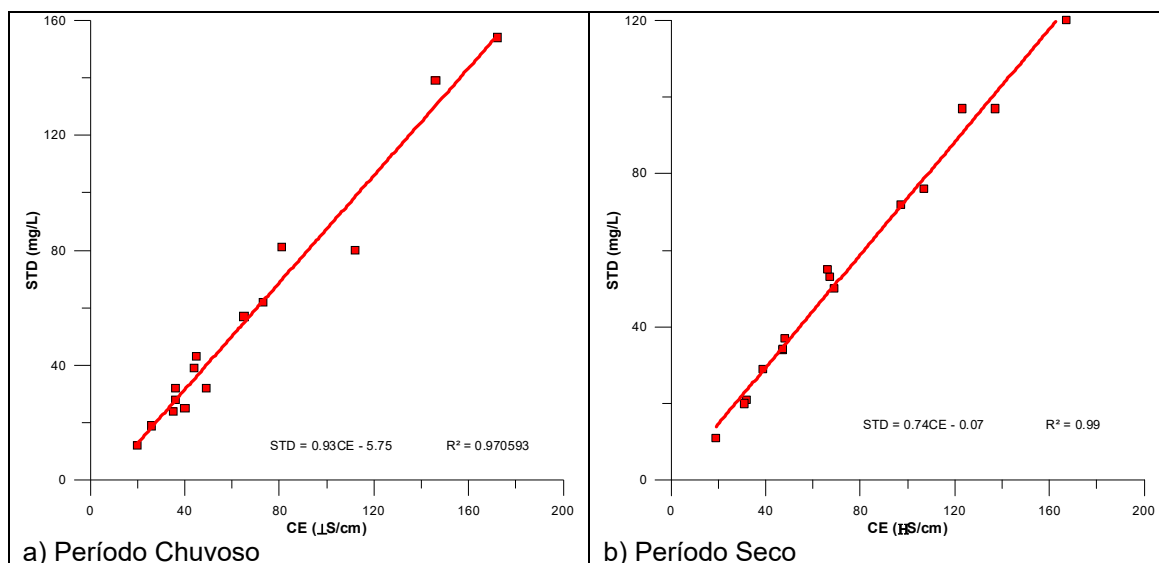


Figura 5.14 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

Os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, segundo a estatística descritiva mostrada na **tabela 5.23**, variam no período chuvoso de 12 a 154 mg/L, com média de 55,13 mg/L e mediana de 39 mg/L. No período de estiagem o mínimo observado foi 11 mg/L e o máximo 120 mg/L, com média de 53,75 mg/L e mediana de 50 mg/L. Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011, que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade. Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados de STD abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 1.000.000 µg.L⁻¹, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, em relação a esse parâmetro.

De modo geral, os valores de STD obtidos nas águas do aquífero Aluvial são baixos, o que pode ser justificado pela constante renovação das águas associada à elevada precipitação pluviométrica de 2.000 mm/ano e grande número de dias de chuvas, cuja média foi de 168 dias no período de 1961-1990, em Tabatinga. Além da influência do intemperismo químico, conforme descreve o **item 2.6**.

Tabela 5.23 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do aquífero Aluvial no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
STD-1	15	55,13	31,54 78,72	39	12	154	42,598	10,999	1,443
STD-2	15	53,75	35,82 71,68	50	11	120	32,38	8,36	0,6869

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência dos sólidos totais dissolvidos na primeira e na segunda campanha de amostragem de água na cidade de Tabatinga (**figura 5.15**) permitiram avaliar, com risco calculado, que no período de estiagem a

concentração de STD é maior do que no período chuvoso (**tabela 5.24**), indicando uma influência da sazonalidade, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).

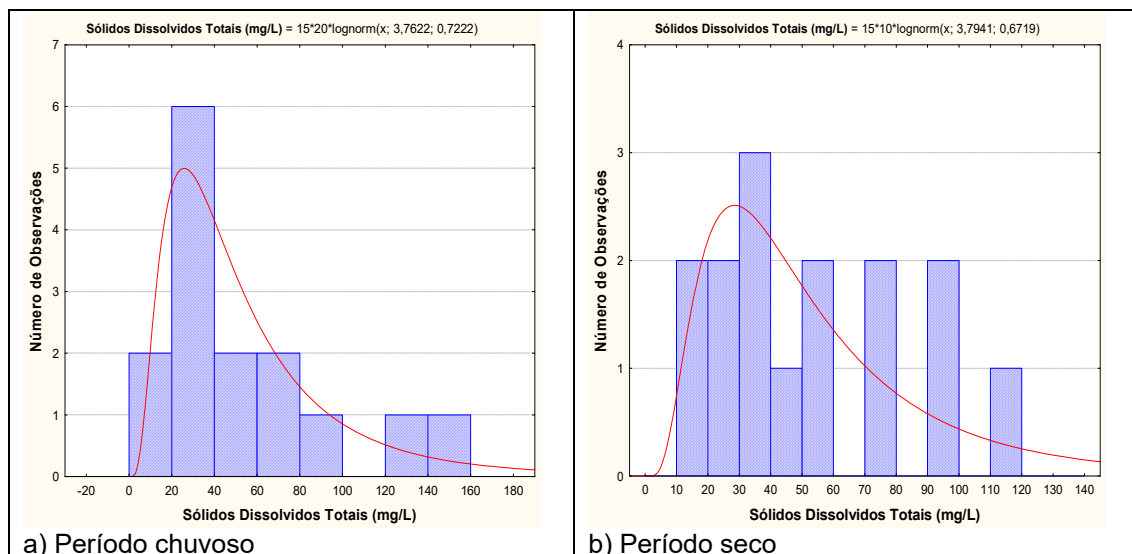


Figura 5.15 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados obtidos no aquífero Aluvial são justificáveis, pois o STD se relaciona diretamente com a CE, e como os valores de CE se apresentaram mais elevados no período de estiagem devido a maior presença de sódio, potássio e magnésio tanto no solo quanto na água subterrânea, também era de se esperar o mesmo comportamento para o STD.

Tabela 5.24 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do aquífero Aluvial no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
STD-1	43,04302	23,43853	17,05875	13,12195	9,766738	8,021389
STD-2	44,43822	25,24466	18,78438	14,71582	11,18067	9,309421
Razão	0,969	0,928	0,908	0,892	0,874	0,862

Zoneamento de STD

A distribuição espacial dos teores de sólidos totais dissolvidos (STD) nas águas do aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), ilustrada respectivamente na **figura 5.16a** e na **figura 5.16b**, revela que o predomínio é de águas nas faixas de 0 a 50 mg/L, seguido de 50 a 100 mg/L. Valores acima de 100 mg/L ficam restritos a manchas pontuais na área de estudo.

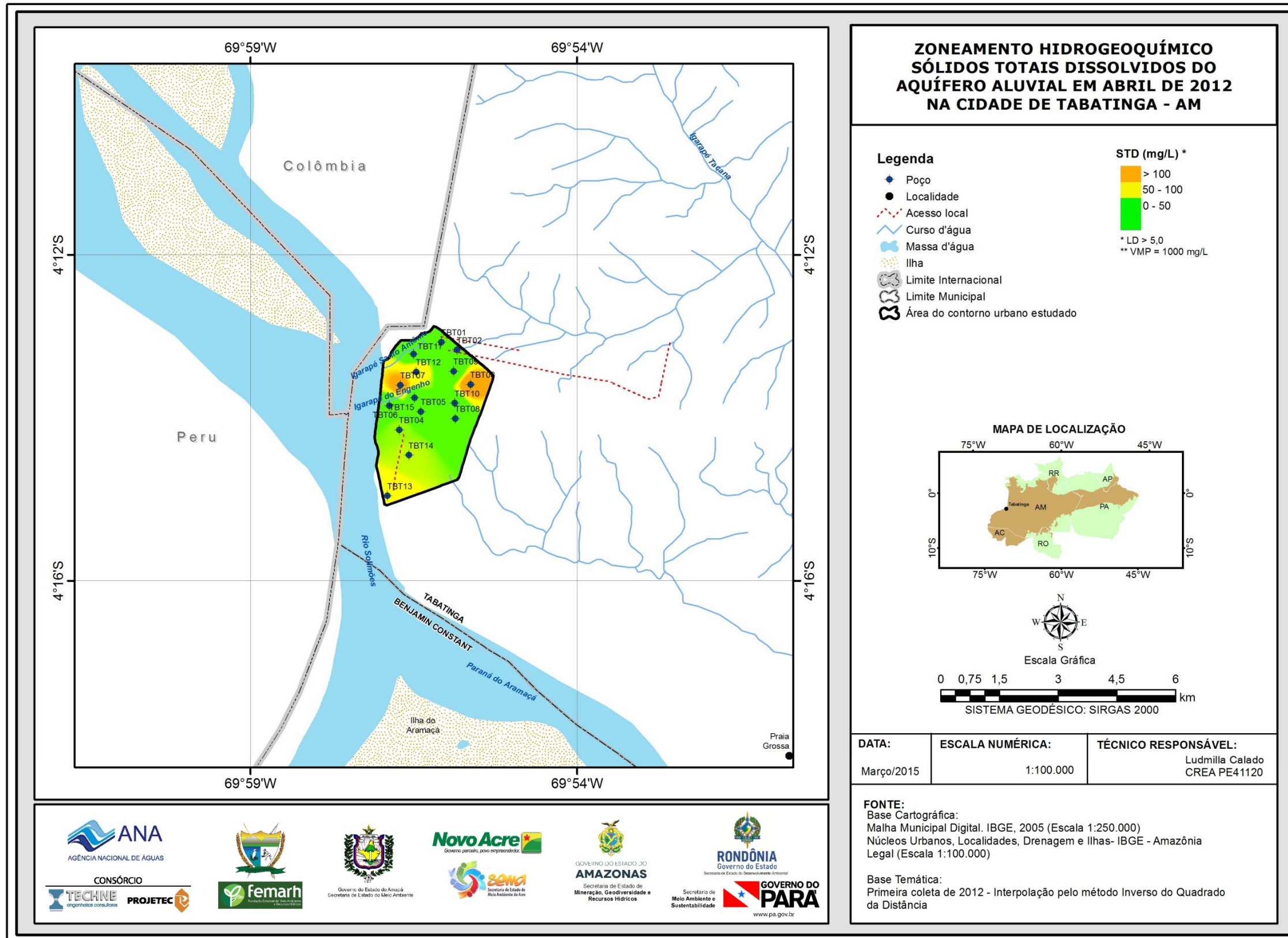


Figura 5.16a – Zoneamento de STD (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

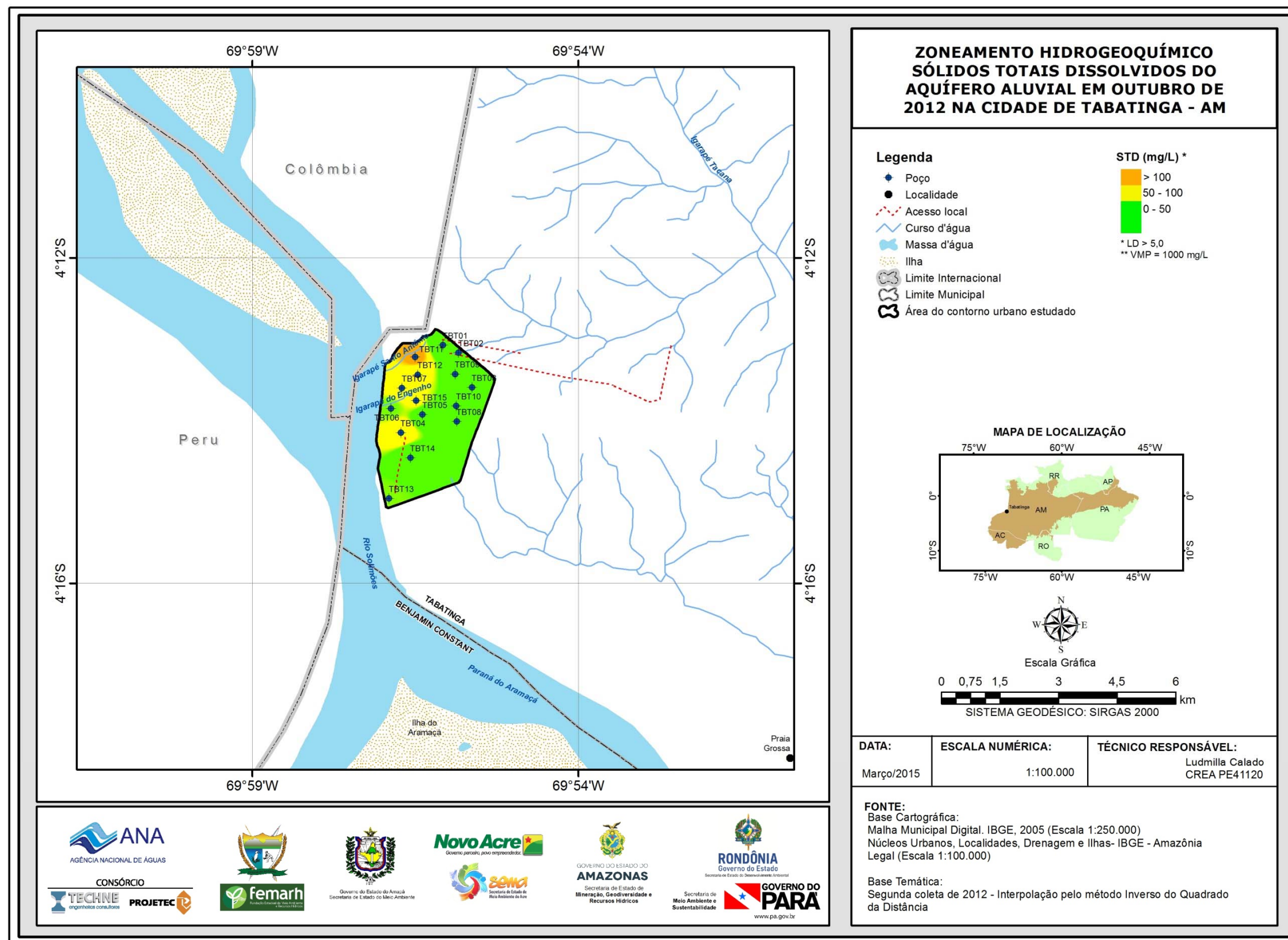


Figura 5.16b – Zoneamento de STD (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é a medida da concentração do íon hidrogênio ou de sua atividade, e é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Na maior parte das águas naturais, o pH é controlado pelo sistema de equilíbrio do gás carbônico – bicarbonatos – carbonatos. Por causa da concentração iônica das águas, o pH se encontra na faixa de 0 a 14; a classificação da água quanto ao pH é feita utilizando o critério:

pH < 7 – água ácida;

pH = 7 – água neutra;

pH > 7 – água básica.

O pH caracteriza a água sob o aspecto de corrosão ou agressividade, propriedades que devem ser consideradas na caracterização das águas quanto ao uso. Em geral, águas de pH baixo, por serem ácidas, tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais, às paredes de concreto e às superfícies de cimento-amianto, enquanto que águas de alto pH tendem a formar incrustações.

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade. No caso específico de Tabatinga para os 15 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é ácido no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com a estatística descritiva mostrada na **tabela 5.25**, nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 2,31 e 5,84, com média e mediana iguais a 4,9 indicando uma distribuição normal. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 3,9 e um máximo de 7,2, apresentando média igual a 5,0 e mediana igual a 4,8.

Tabela 5.25 – Estatística descritiva do pH *in situ* do aquífero Aluvial no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
pH-1	15	4,9	4,44	5,37	4,9	2,31	5,84	0,833	0,215	-2,252
pH-2	15	5	4,54	5,46	4,8	3,9	7,2	0,83	0,214	1,4546

Os histogramas de frequência e as respectivas curvas ajustadas à lei normal de distribuição de probabilidade para o período chuvoso (abril de 2012) e para o período seco (outubro de 2012) são apresentados na **figura 5.17**.

Na **tabela 5.26** são indicados, com risco calculado, os valores estimados do pH *in situ* em Tabatinga para o período chuvoso e para o período seco. Os resultados mostram que em ambos os períodos as águas se caracterizam

como ácidas, mas com uma leve tendência de aumento do pH *in situ* no período seco, segundo o modelo adotado.

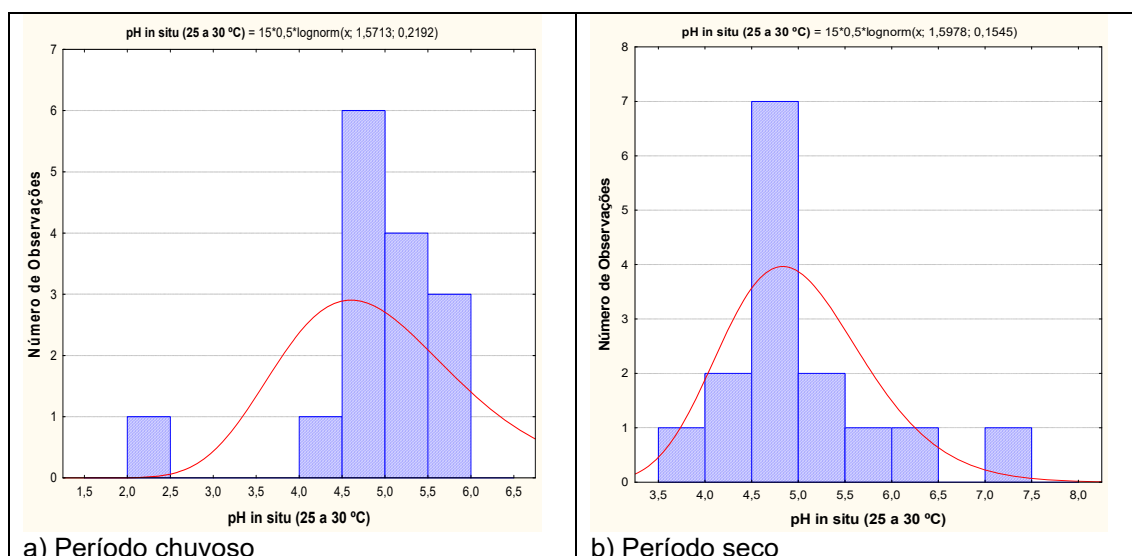


Figura 5.17 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Tais resultados são coerentes, pois a água da chuva possui pH ácido e conforme avaliação de Monteiro & Gioda (2011), variável de 3,9 a 5,9, com valor médio de 4,95 na região amazônica.

Isso ocorre porque a água da chuva rica em O₂, em interação com o CO₂ da atmosfera adquire caráter ácido e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica (processos redox) enriquecem o ambiente em CO₂, diminuindo ainda mais o seu pH (Teixeira *et al.*, 2000).

Tabela 5.26 – Distribuição de probabilidade do pH *in situ* do aquífero Aluvial no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

P(x>a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
pH-1	4,812901	4,00209	3,634181	3,355994	3,068283	2,890312
pH-2	7,372818	6,473841	6,048439	5,718292	5,368217	5,146821
Razão	0,653	0,618	0,601	0,587	0,572	0,562

Zoneamento do pH *in situ*

A distribuição espacial do pH *in situ* das águas do aquífero Aluvial em Tabatinga no período chuvoso (**figura 5.18a**) mostra que na área de estudo predominam águas ácidas com pH nas faixas de 4 a 5 e de 5 a 6. No período seco (**figura 5.18b**), os valores de pH *in situ* se apresentam de forma mais significativa na faixa de 4 a 5, com valores pontuais de pH *in situ* na faixa superior a 6. De modo geral, em ambas as campanhas, os valores de pH caracterizam águas naturais ácidas.

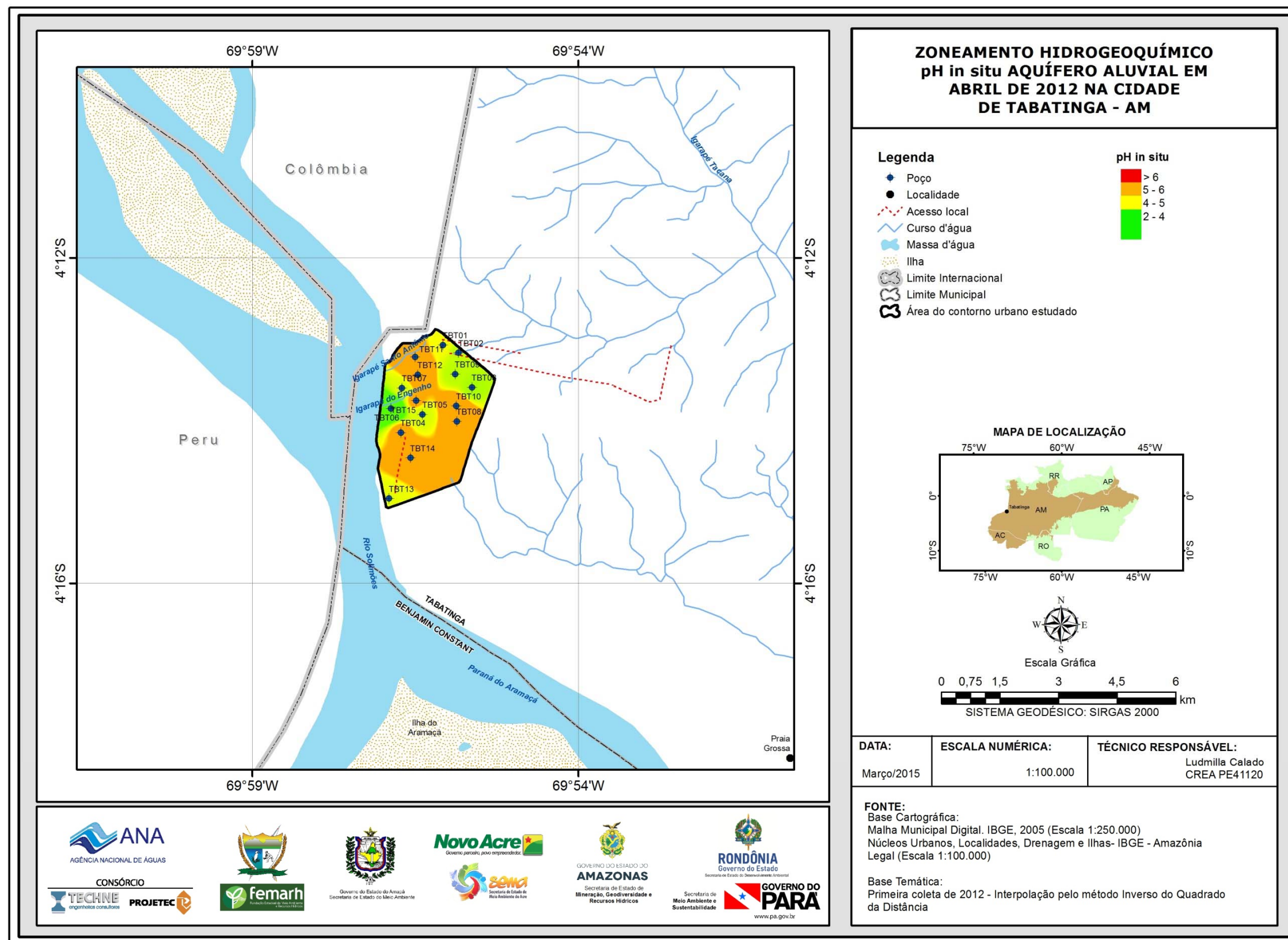


Figura 5.18a – Zoneamento de pH *in situ* das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

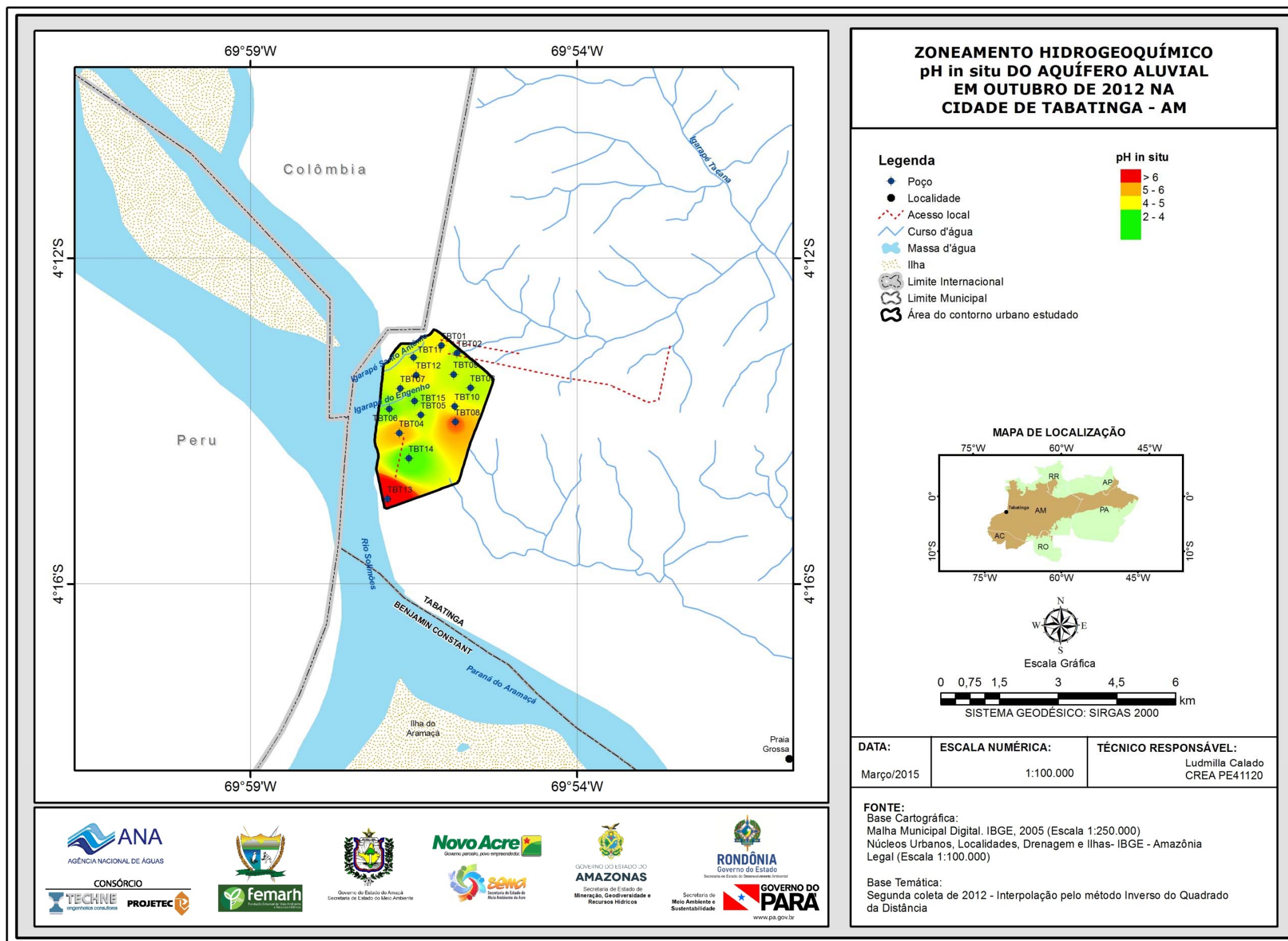


Figura 5.18b – Zoneamento de pH *in situ* das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.7 – Potencial Redox (Eh)

O equilíbrio de oxidação e redução de um meio é descrito através do conceito de atividade do elétron por pE (ou Eh) definido como:

$$pE = -\log a_{(e)} = -\log \{e\}$$

Valores baixos de Eh significam que há elétrons das substâncias dissolvidas na água, facilmente disponíveis, tornando o meio de natureza redutora. Valores altos de Eh significam que as substâncias dissolvidas predominantes são agentes oxidantes, ou seja, há poucos elétrons disponíveis para causar redução.

Em um diagrama de classificação das águas naturais sob diferentes condições Eh/pH (**figura 5.19**), a água da superfície ou da zona de aeração em contato com a atmosfera apresenta pE alto, onde o meio é oxidante e o ambiente aeróbico. Esse ambiente fica, portanto, na parte mais superior da zona de estabilidade da água. Nele se encontram: a água da chuva e a água dos oceanos. À medida que a água se afasta da superfície em direção ao subsolo, o pE diminui, caracterizando um aumento da atividade eletrônica do meio, até alcançar, na base da zona de estabilidade da água, um ambiente redutor e anaeróbico (Lenzi *et al.*, 2009). Nesse ambiente são encontradas as águas sem circulação em solos saturados; as águas estagnadas de lagos; as águas salgadas ricas em matéria orgânica. Nos aquíferos, a água subterrânea em movimento constitui um ambiente de transição entre esses dois extremos da zona de estabilidade da água (Merkel & Friedrich, 2008).

Segundo Merkel & Friedrich (2008) os diagramas pH-Eh podem ser utilizados como uma primeira aproximação para caracterizar as águas naturais. Todavia, é preciso que se esteja atento para as incertezas inerentes às medidas de Eh em campo, com equipamentos portáteis. Na prática essas medidas, independente do eletrodo de referência, são bastante problemáticas, pois são afetadas por contaminação e efeitos de memória em todos os tipos de eletrodos.

No aquífero Aluvial, em Tabatinga, essa situação não é diferente como revelam os ajustes lineares entre pH e Eh (**figura 5.19**) feitos a partir dos dados medidos em campo, que foram os seguintes:

No período chuvoso: $pH = -0,062Eh + 0,57$ $R^2 = 0,78$

No do período seco: $pH = 0,015Eh + 0,18$ $R^2 = 0,006$

O coeficiente de determinação do ajuste do período chuvoso indicou que existe uma correlação significativa entre as medidas de pH e Eh. Isto provavelmente, se deve ao fato de que as águas do aquífero Aluvial são mais ácidas no período chuvoso, o que favorece os maiores valores de Eh, devido as condições oxidantes.

No período de estiagem, o coeficiente de determinação do ajuste se mostrou insignificante, indicando que não existe correlação significativa entre as medidas de pH e Eh efetuadas em campo. Isto sugere que, para fins de modelagem termodinâmica, a distribuição das espécies químicas não pode ser deduzida da concentração total de elementos via potencial redox medido.

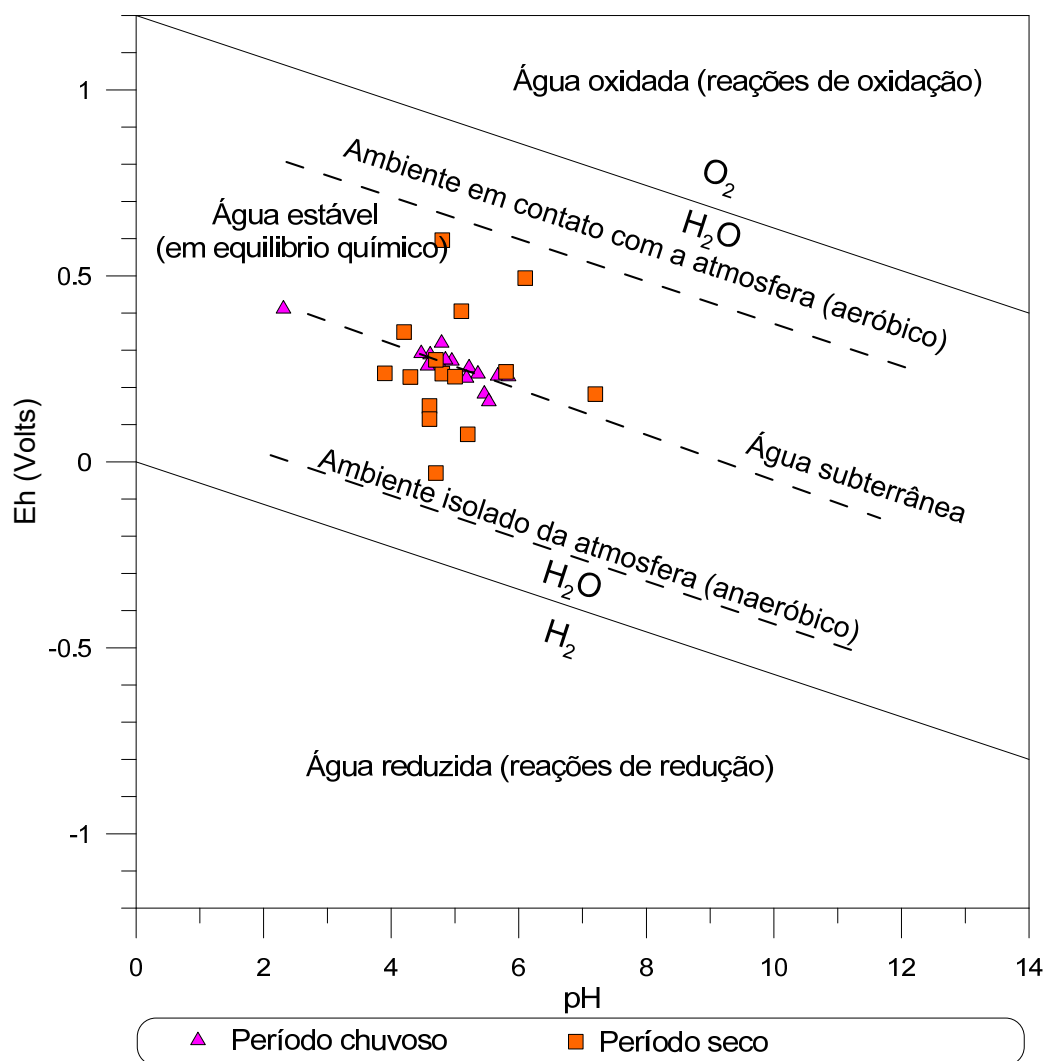


Figura 5.19 – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM (temperatura *in situ* variou de 25,85 a 33,5°C) nas duas campanhas de amostragem.

O potencial redox é, por definição, a energia ganha na transferência de 1 mol de elétrons de um oxidante para H_2 . O h em Eh indica que o potencial é na escala do hidrogênio e o E simboliza a força eletromotriz (Freeze & Cherry, 1979).

A estatística descritiva do Eh em Tabatinga, expressa na **tabela 5.27**, mostra que no período chuvoso os valores de Eh oscilaram entre 167,6 e 417 mV, com uma média de 265,5 mV. No período de estiagem os valores oscilaram entre mínimo de -30 e máximo de 596 mV, com média de 252,2 mV.

Tabela 5.27 – Estatística descritiva do Eh do aquífero Aluvial no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012.

Eh (mV)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Eh-1	15	265,5	233,15	297,85	263,7	167,6	417	58,409	15,081	0,927
Eh-2	15	252,2	163,75	340,65	237	-30	596	159,71	41,237	0,5482

No período chuvoso, 100% (15/15) das amostras apresentaram resultados de Eh positivo, enquanto que no período de estiagem, 93% (14/15) das amostras obtiveram valores de Eh positivos, indicando que as águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga se encontram em condições oxidantes.

Os histogramas de frequência e as respectivas curvas de distribuição de probabilidade do Eh, modelados pela lei normal, são apresentados na **figura 5.20**.

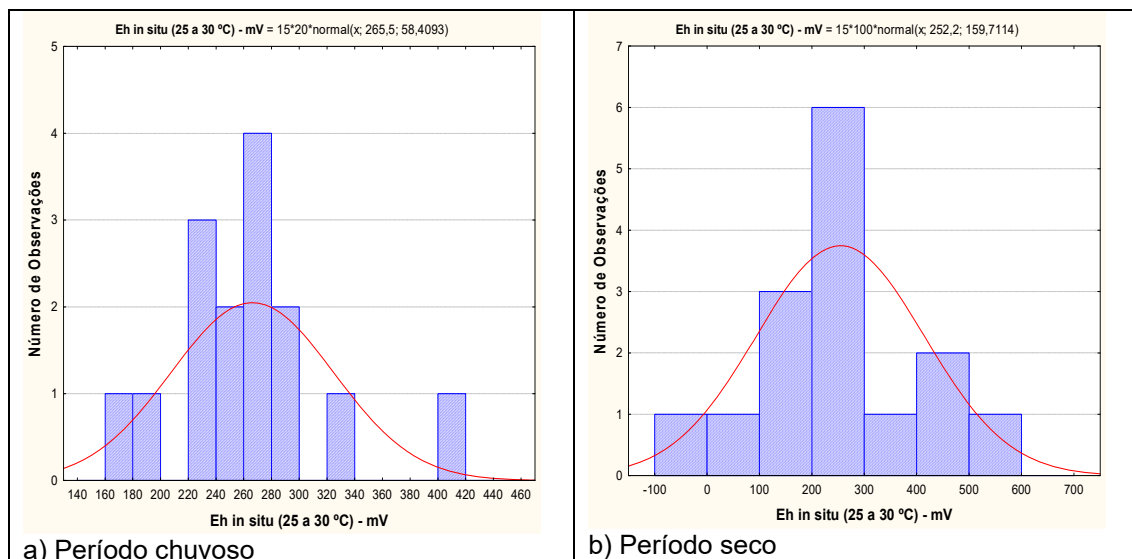


Figura 5.20 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Eh do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os valores da razão de Eh revelados pelo modelo, conforme **tabela 5.28**, mostram de forma clara que os valores do período chuvoso são maiores quando comparados aos do período de estiagem.

Tabela 5.28 – Distribuição de probabilidade da Eh do aquífero Aluvial no período chuvoso (Eh -1) - abril de 2012 e no período seco (Eh -2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Eh -1	265,5	216,3415	190,6455	169,4253	145,542	129,6196
Eh -2	252,2	117,7835	47,52161	-10,5019	-75,8071	-119,344
Razão	1,053	1,837	4,012	-16,133	-1,920	-1,086

Os resultados de Eh obtidos no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga são coerentes, pois de acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução, em razão da contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos

oxidáveis, o que acarreta, no caso do aquífero Aluvial, as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

Zoneamento de Eh

Segundo a distribuição espacial apresentada na **figura 5.21a**, os valores positivos de Eh, dominantes no aquífero Aluvial na região de Tabatinga no período chuvoso de abril de 2012, estão no intervalo de 200 a 300 mV. No período seco os valores de Eh se distribuem em dois intervalos principais de valores: de 0 a 200 e de 200 até 300 mV em toda área de estudo (**figura 5.21b**). Nas duas campanhas de amostragem, os valores acima de 300 mV ocorrem em manchas esparsas na área de estudo.

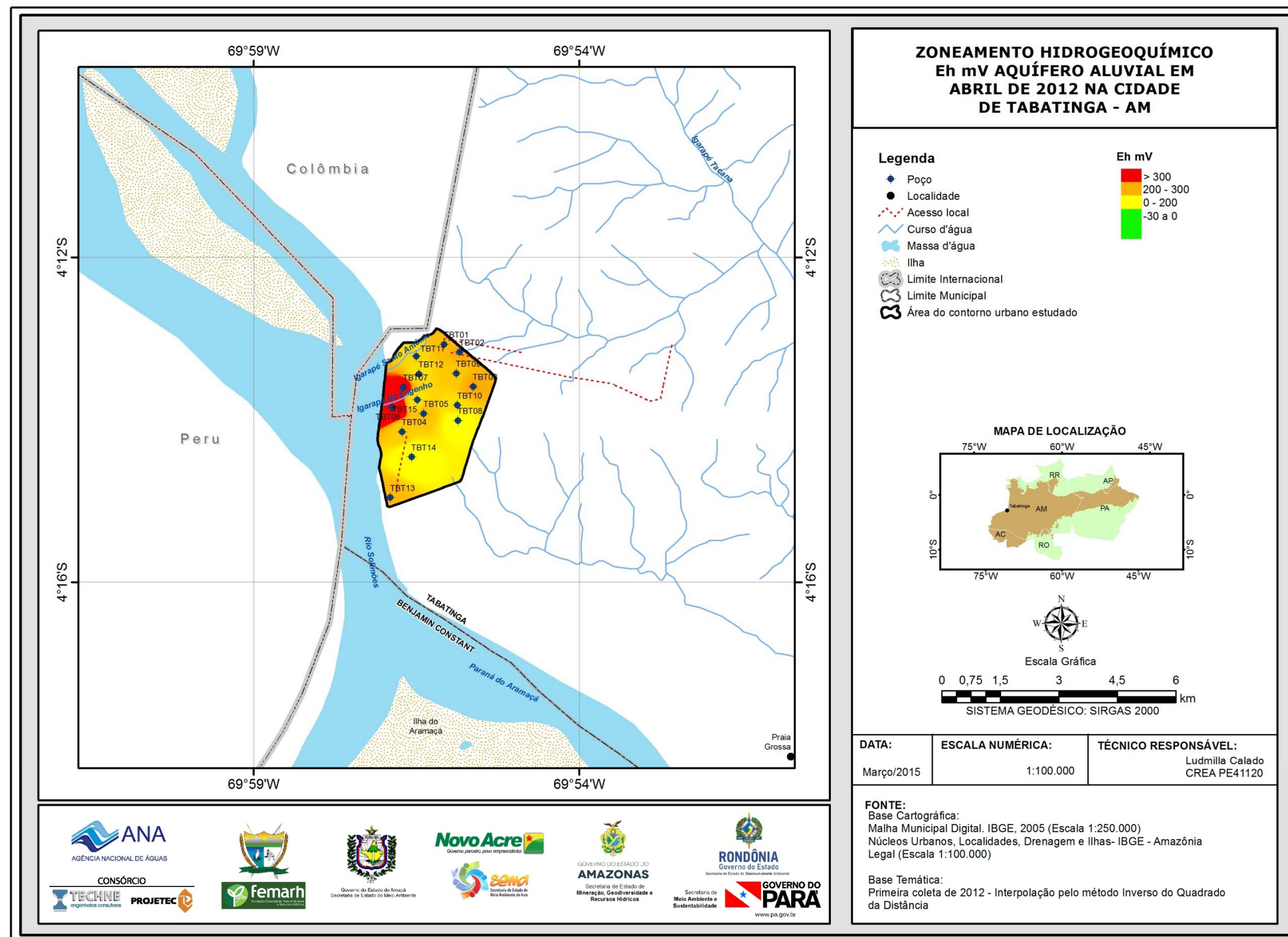


Figura 5.21a – Zoneamento de Eh (mV) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

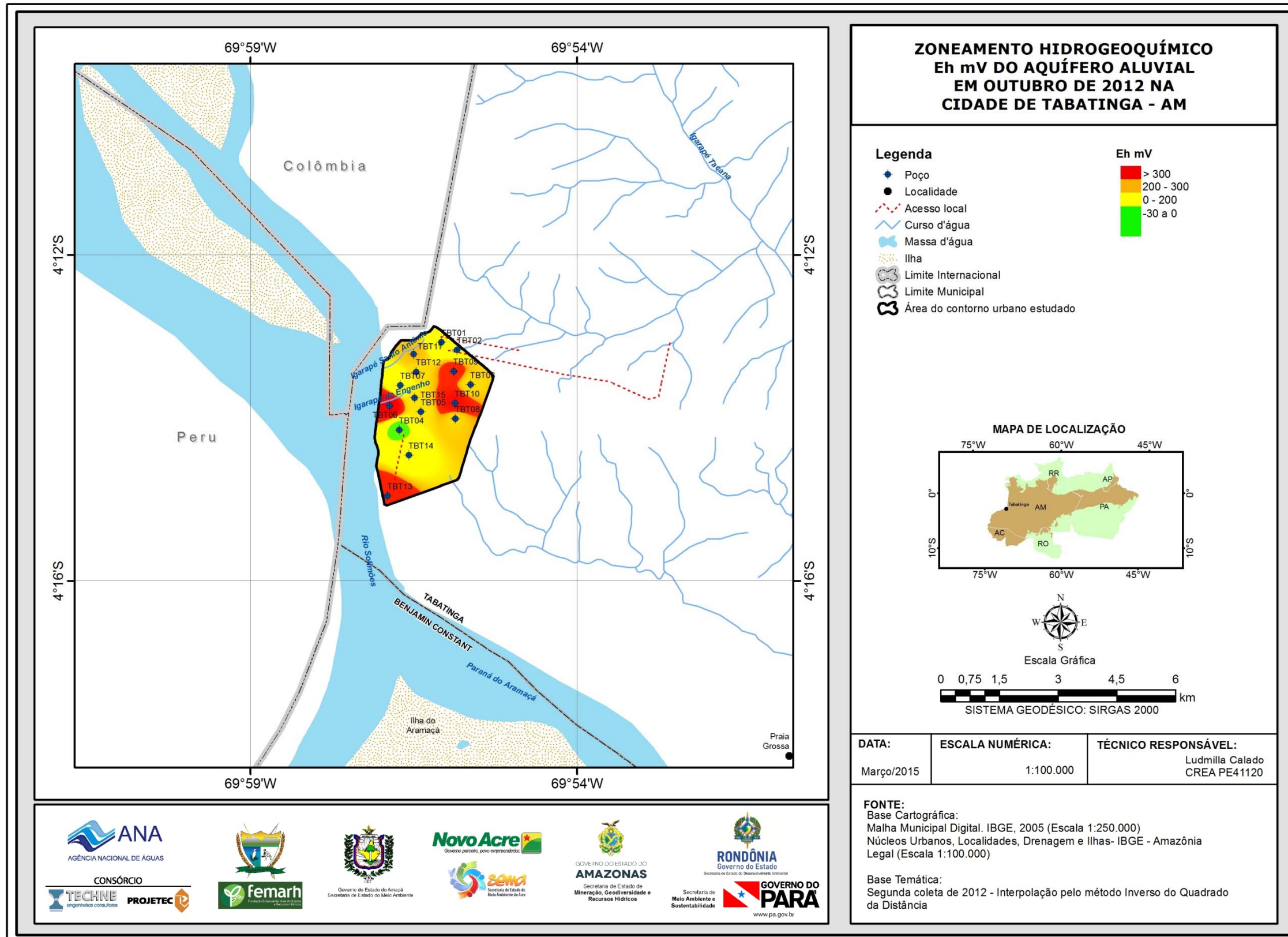


Figura 5.21b – Zoneamento de Eh (mV) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM

5.2.8 – Cátions

5.2.8.1 – Sódio

O íon sódio (Na^+) apresenta solubilidade muito elevada, sendo muito difícil de precipitar. Em água doce, a concentração de sódio varia de 1 a 150 mg/L; nas salmouras naturais pode chegar a 100.000 mg/L. Concentrações de sódio elevadas nas águas podem ser prejudiciais às plantas por reduzir a permeabilidade do solo, principalmente se as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} forem baixas.

A estatística descritiva (**tabela 5.29**) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Aluvial variam entre 0,44 e 16,46 mg/L no período chuvoso, com média de 4,97 mg/L e mediana de 3,29 mg/L; no período de estiagem a média é de 6,79 mg/L e a mediana de 5,77 mg/L, com os teores compreendidos entre 0,38 e 14,58 mg/L. De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para os seres humanos.

Tabela 5.29 – Estatística descritiva do Sódio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Na-1	15	4,97	2,44	7,5	3,29	0,44	16,46	4,566	1,179	1,643
Na-2	15	6,79	4,41	9,18	5,77	0,38	14,58	4,3	1,111	0,4021

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 200 e 300 mg/L, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação, respectivamente.

O modelo de distribuição probabilidade lognormal ajustado aos histogramas da **figura 5.22** permitiu estimar, com risco calculado, os valores para o período chuvoso e para o período de estiagem.

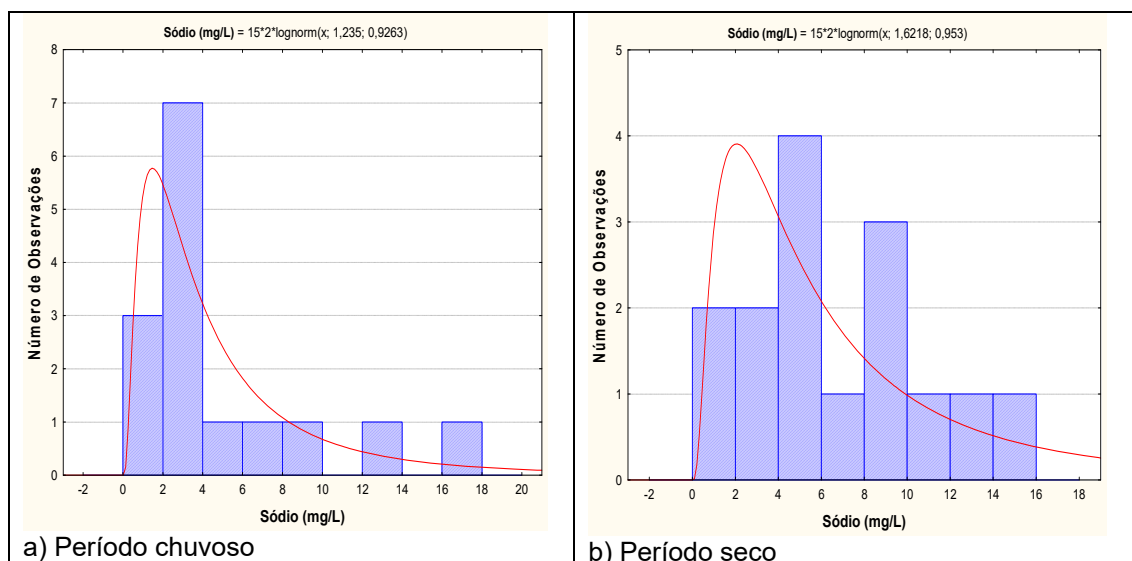


Figura 5.22 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De modo geral, os teores de sódio encontrados em ambas as campanhas de amostragem no aquífero Aluvial são baixos. Isto se deve ao intemperismo químico da região, conforme descrito no **item 2.6**, bem como à constante renovação das águas subterrâneas devido à elevada precipitação regional.

Os resultados mostrados na **tabela 5.30** indicam que os teores de sódio são maiores no período de estiagem quando comparados aos do período chuvoso, haja vista que a razão obtida nas duas campanhas é inferior a 1 (um).

Tabela 5.30 – Distribuição de probabilidade do Sódio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Na-1	3,438379	1,576814	1,049064	0,749291	0,513047	0,39856
Na-2	5,062194	2,269898	1,492543	1,055753	0,715036	0,551447
Razão	0,679	0,695	0,703	0,710	0,718	0,723

De acordo com Santos *et al.* (1981), na Amazônia Central, parte dos nutrientes são transportados até o solo pela queda de detritos (folhas, galhos, etc.) da serrapilheira, onde após a sua decomposição eles são incorporados ao sistema radicular da vegetação; enquanto que outra fração de nutrientes, bastante significativa é transferida para o solo, através da água de lavagem da floresta, a qual se torna mais importante, devido o potencial de precipitação pluviométrica na região, visto que o solo local é arenoso e pobre em bases trocáveis.

Tal premissa pode ser ratificada com base nos resultados obtidos no **item 5.1.5**, onde a maioria das amostras apresentou resultados de ITB negativos, fato que acontece quando o terreno fornece os metais alcalinos. De acordo com Szikszay (1993), isso é possível, pois as argilas e o húmus dão colóides eletronegativos que são capazes de fixar e trocar cátions.

Segundo Moraes (1999), o solo da floresta amazônica é em geral bastante arenoso e possui uma fina camada de nutrientes que é rica em húmus, o produto resultante da matéria orgânica decomposta.

Madari *et al.* (2009) relatam que os teores de matéria orgânica é que regulam a capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente em solos tropicais, cuja fase mineral é dominada por minerais de baixa atividade química quando comparadas à fase mineral dos solos encontrados em regiões de clima temperado. Em solos brasileiros, a matéria orgânica pode contribuir para até 80% das cargas negativas do solo, e isso explica o fato de a CTC desses solos estar, em grande parte, associada à matéria orgânica do solo.

Sendo assim, verifica-se que os teores mais elevados de sódio no período de estiagem no aquífero Aluvial, provavelmente, se devem aos nutrientes transportados até o solo pela decomposição da matéria orgânica.

Zoneamento de Sódio

A distribuição dos teores de sódio nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, no período chuvoso em abril de 2012, revela um predomínio de valores compreendidos no intervalo de 0 até 5 mg/L (**figura 5.23a**). No período seco de outubro de 2012 (**figura 5.23b**), os teores de sódio se distribuem de forma predominante nas faixas de 0 a 5 mg/L e de 5 a 10 mg/L. Em ambas as campanhas, os valores superiores a 10 mg/L ficam restritos em manchas isoladas.

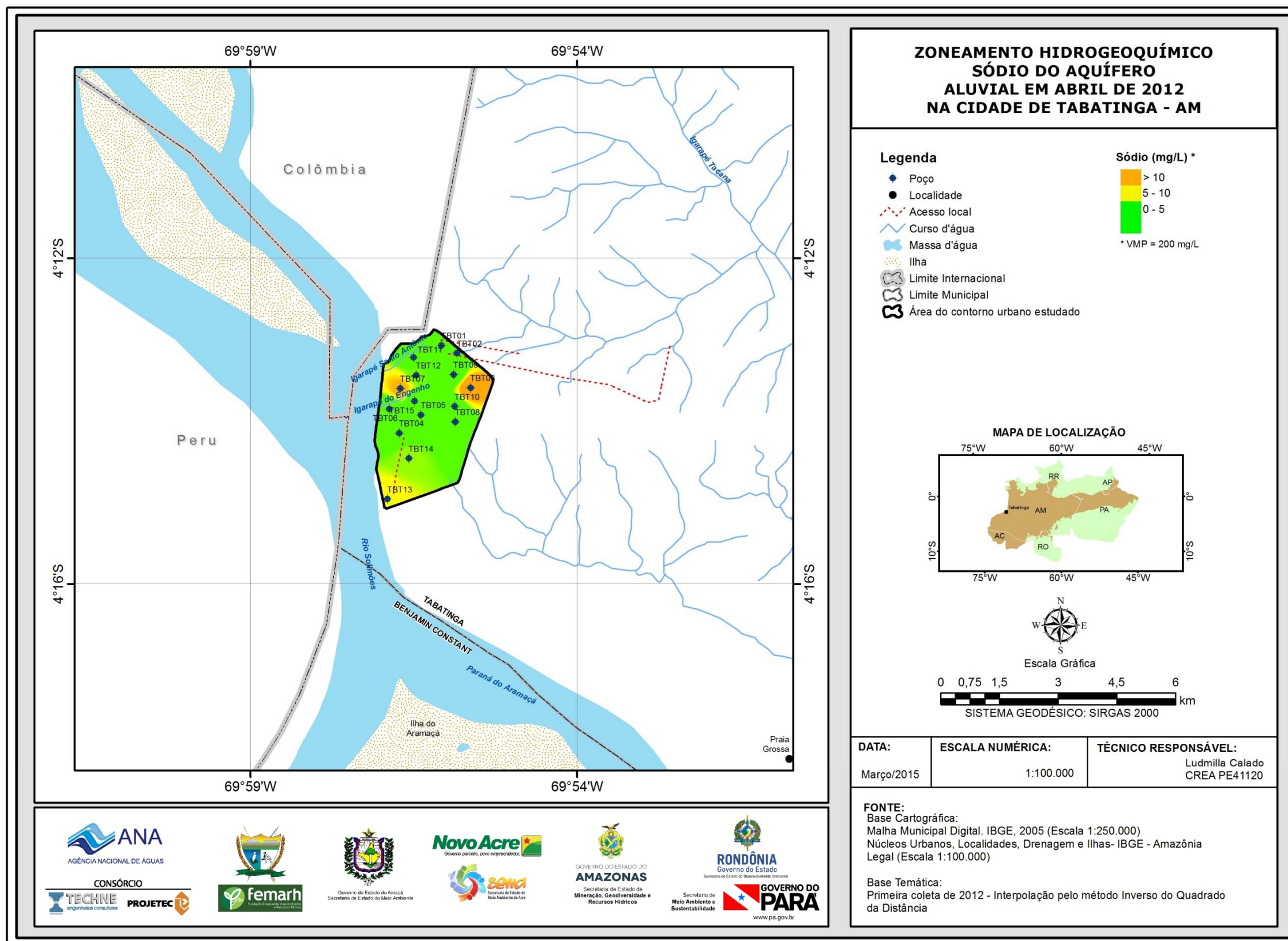


Figura 5.23a – Zoneamento de Sódio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

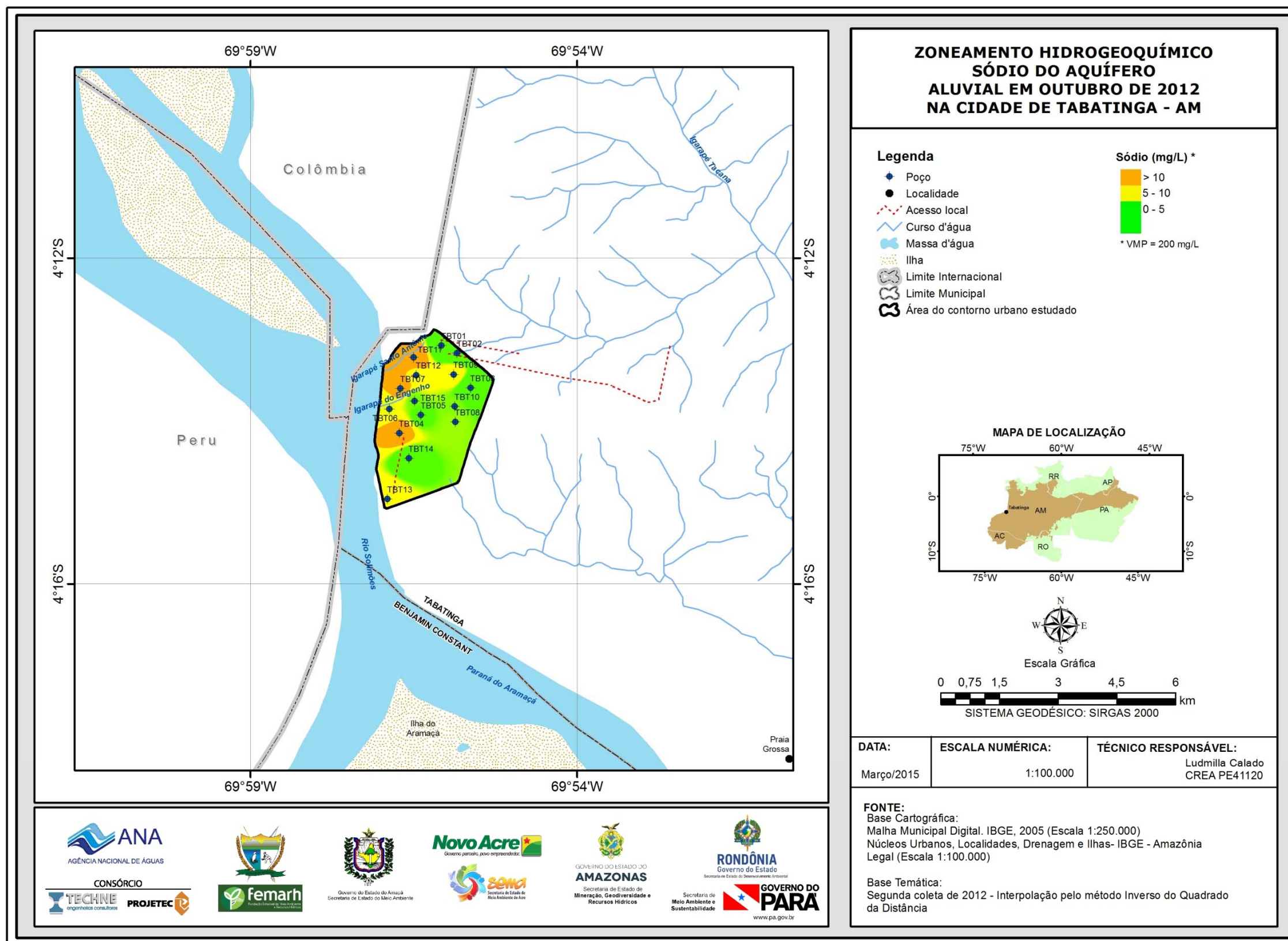


Figura 5.23b – Zoneamento de Sódio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM

5.2.8.2 – Potássio

A **tabela 5.31** mostra a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Aluvial. No período chuvoso as concentrações de potássio medidas nos 15 poços oscilaram entre 0,19 e 3,42 mg/L com média de 1,51 mg/L e mediana de 1,37 mg/L; na estiagem, a variação foi de 0,44 a 4,63 mg/L, com média de 1,95 mg/L e mediana de 1,89 mg/L.

Tabela 5.31 – Estatística descritiva do Potássio do aquífero Aluvial no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
K-1	15	1,51	1,07	1,94	1,37	0,19	3,42	0,786	0,203	0,93
K-2	15	1,95	1,36	2,54	1,89	0,44	4,63	1,06	0,275	1,0128

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados em ambas as campanhas foi de 0,19 e 4,63 mg/L, respectivamente.

Os histogramas de frequência de potássio ilustrados na **figura 5.24** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para potássio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.32**).

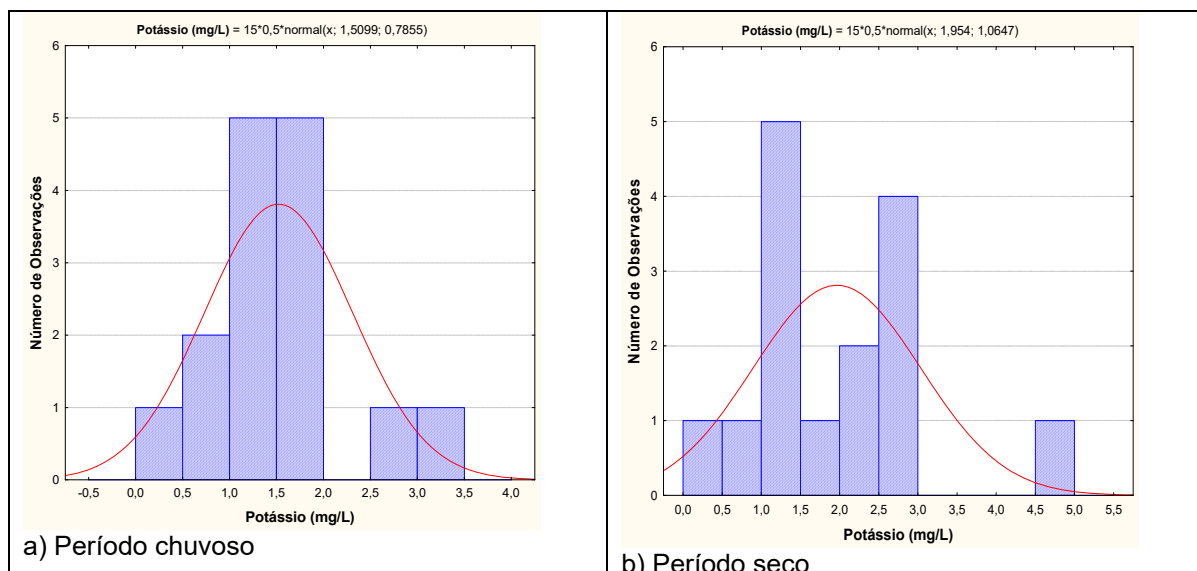


Figura 5.24 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Dessa forma, com base nos dados de média e mediana considera-se que os valores de potássio no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Tabela 5.32 – Distribuição de probabilidade do Potássio do aquífero Aluvial no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
K-1	1,5099	0,848807	0,503241	0,217867	-0,10332	-0,31745
K-2	1,954	1,057926	0,589532	0,202724	-0,23263	-0,52286
Razão	0,773	0,802	0,854	1,075	2,25	1,65

De acordo com Santos *et al.* (1981), na Amazônia Central, parte dos nutrientes são transportados até o solo pela queda de detritos (folhas, galhos, etc.) da serrapilheira, onde após a sua decomposição eles são incorporados ao sistema radicular da vegetação; enquanto que outra fração de nutrientes, bastante significativa é transferida para o solo, através da água de lavagem da floresta, a qual se torna mais importante, devido o potencial de precipitação pluviométrica na região, visto que o solo local é arenoso e pobre em bases trocáveis.

Tal premissa pode ser ratificada com base nos resultados obtidos no **item 5.1.5**, onde a maioria das amostras apresentou resultados de ITB negativos, fato que acontece quando o terreno fornece os metais alcalinos. De acordo com Szikszay (1993), isso é possível, pois as argilas e o húmus dão coloides eletronegativos que são capazes de fixar e trocar cátions.

Segundo Moraes (1999), o solo da floresta amazônica é em geral bastante arenoso e possui uma fina camada de nutrientes que é rica em húmus, o produto resultante da matéria orgânica decomposta.

Madari *et al.* (2009) relatam que os teores de matéria orgânica é que regulam a capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente em solos tropicais, cuja fase mineral é dominada por minerais de baixa atividade química quando comparadas à fase mineral dos solos encontrados em regiões de clima temperado. Em solos brasileiros, a matéria orgânica pode contribuir para até 80% das cargas negativas do solo, e isso explica o fato de a CTC desses solos estar, em grande parte, associada à matéria orgânica do solo.

Sendo assim, verifica-se que os teores mais elevados de potássio no período de estiagem no aquífero Aluvial, provavelmente, se devem aos nutrientes transportados até o solo pela decomposição da matéria orgânica.

Zoneamento de Potássio

A distribuição dos teores de potássio nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga no período chuvoso de abril de 2012 (**figura 5.25a**) e seco de outubro de 2012 (**figura 5.25b**), revelam que há um predomínio de valores compreendidos no intervalo de 0 a 1,5 mg/L e de 1,5 a 3 mg/L. Os teores acima dessas faixas estão dispersos pela área de estudo em manchas isoladas.

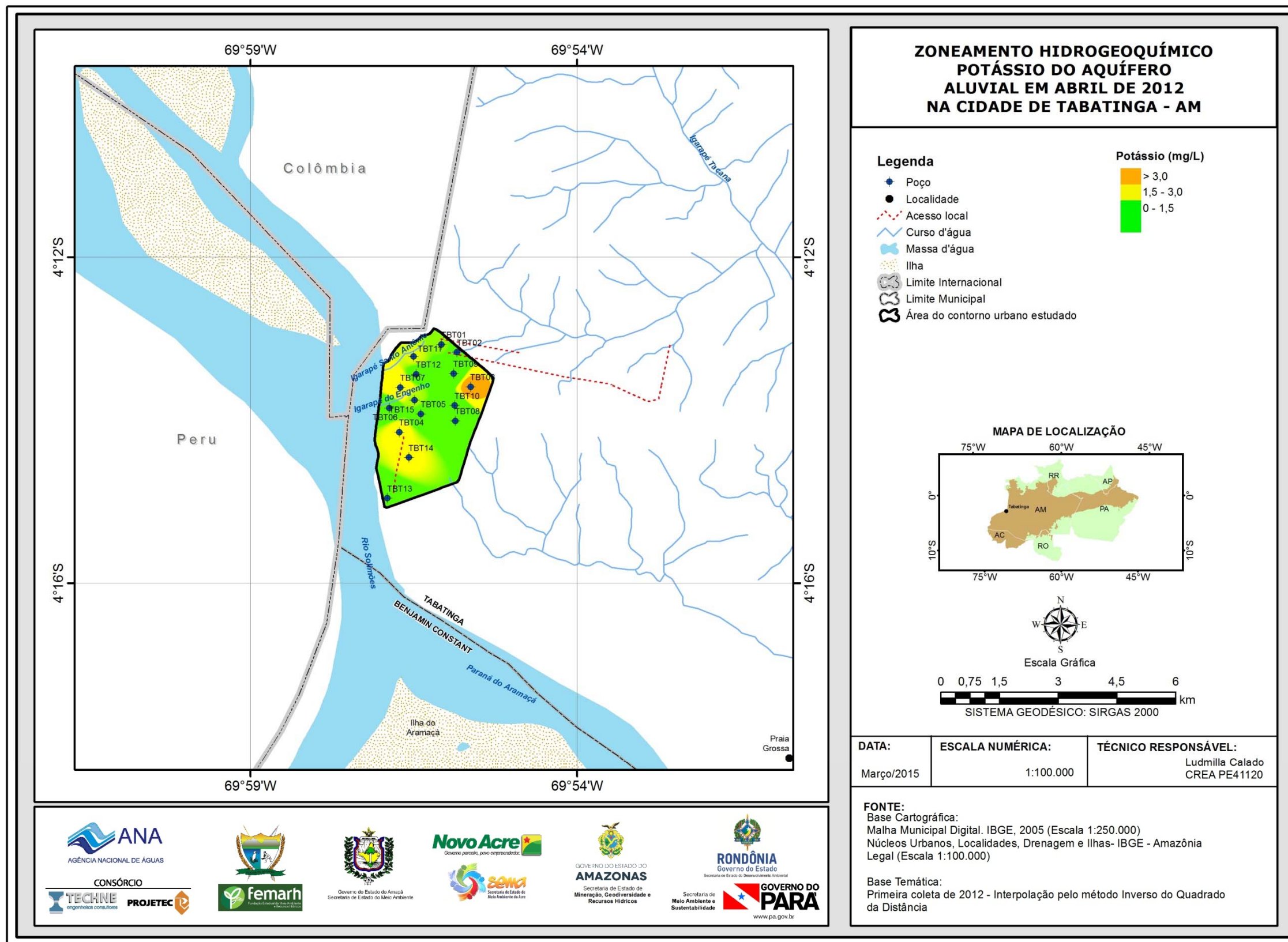


Figura 5.25a – Zoneamento de Potássio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012), na cidade de Tabatinga – AM.

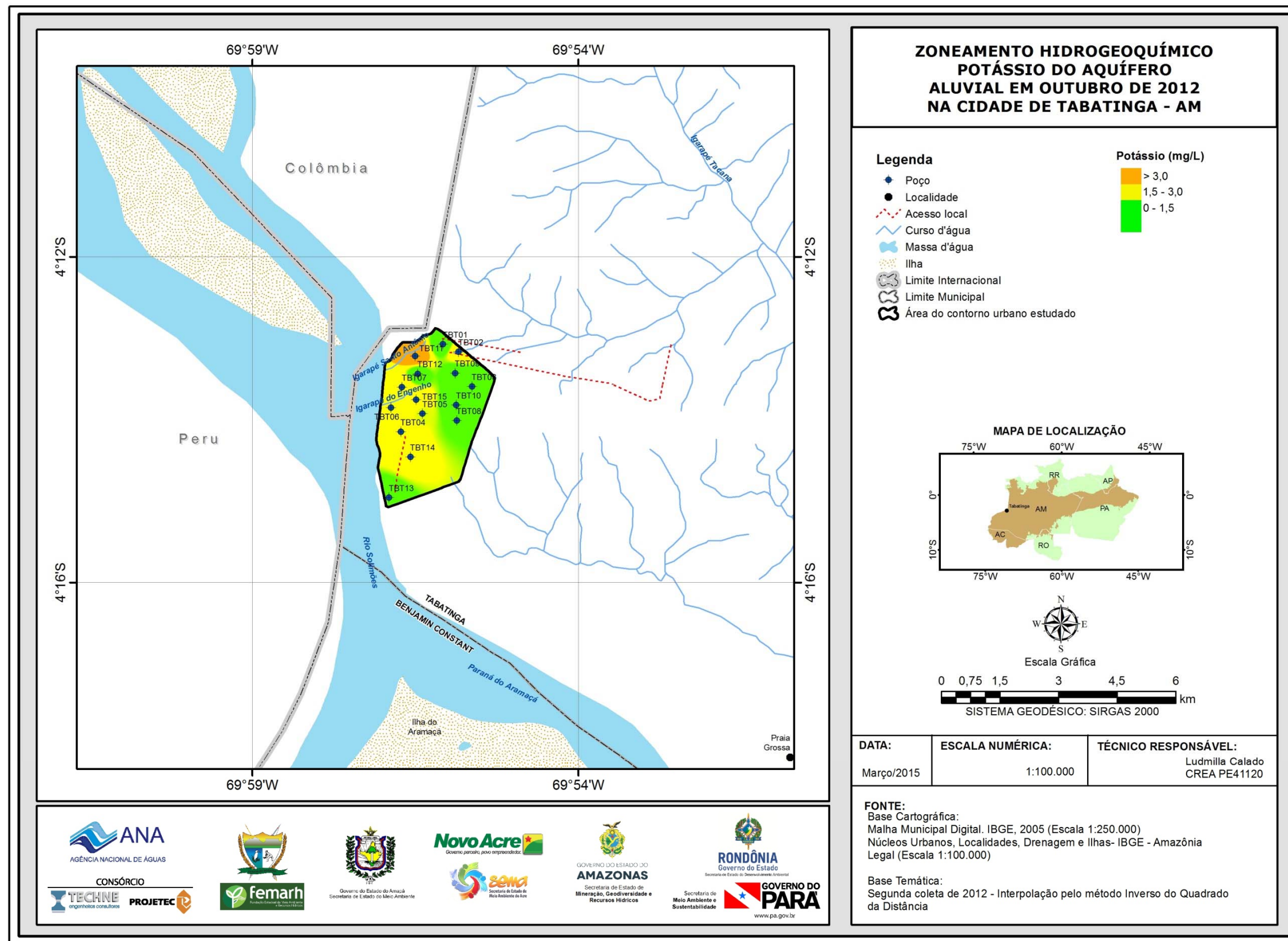


Figura 5.25b – Zoneamento de Potássio (mg/L) nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial no período de estiagem (outubro de 2012), na cidade de Tabatinga – AM.

5.2.8.3 – Cálcio

Nas águas subterrâneas em contato com rochas carbonatadas, os íons de cálcio (Ca^{2+}) são provenientes da dissolução da calcita, dolomita e gipsita. Eles são desde moderadamente solúveis a muito solúveis e são muito fáceis de precipitar como carbonato de cálcio.

Em águas doces, as concentrações de Ca^{2+} variam de 10 a 250 mg/L; elevadas concentrações de cálcio podem provocar formação de pedras nos rins, a hipercalcemia. No uso industrial, em sistemas de refrigeração, elevadas concentrações produzem entupimento através da produção de incrustações, o cálcio contribui para o aumento da dureza na água.

A **tabela 5.33** mostra a estatística descritiva dos teores de cálcio medidos no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga. No período chuvoso, os valores medidos estão compreendidos entre 0,13 e 11 mg/L, com média de 1,52 mg/L e mediana de 0,89 mg/L. Na estiagem, as concentrações de cálcio variam de 0,09 a 5,74 mg/L, sendo a média de 1,15 mg/L e a mediana igual a 0,67 mg/L.

Tabela 5.33 – Estatística descritiva do Cálcio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Ca-1	15	1,52	0,03	3	0,89	0,13	11	2,685	0,693	3,574
Ca-2	15	1,15	0,37	1,94	0,67	0,09	5,74	1,42	0,367	2,6627

No período chuvoso, 93% (14/15) das amostras apresentaram valores de cálcio que variaram de 0,13 a 1,86 mg/L e 7% (1/15) um valor anômalo de 11 mg/L, no poço TBT12. No período seco, 93% (14/15) dos poços obtiveram resultados de 0,09 a 2,04 mg/L, ficando 1 (um) único valor mais alto, apenas 7%, também restrito ao poço TBT12 (5,74 mg/L). Dessa forma, os valores máximos obtidos no poço TBT12, em ambas as campanhas, correspondem a extremos, que provavelmente se devem a contaminações locais por ausência de esgotamento sanitário próximo a esse ponto.

De modo geral, os teores de cálcio na área de estudo são baixos. Isso se deve, sobretudo, ao clima chuvoso, haja vista que no período de 1961-1990, o número médio anual de dias de chuva na região foi de 168 dias. Tal condição climática contribui para que as águas superficiais e subterrâneas se renovem com muita frequência. Além disso, a abundância de água, associada com a exuberante cobertura vegetal e as altas temperaturas, são os principais condicionantes do intemperismo químico que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos, deixando os terrenos lixiviados e lateritizados (**item 2.6**). Os valores anômalos são pontuais e decorrem das atividades antrópicas, que em todos os sentidos impactam o ambiente natural.

Os histogramas de frequência modelados pela lei lognormal de distribuição de probabilidade (**figura 5.26**) permitiram estimar com nível de risco calculado, os teores de cálcio para o período chuvoso e para o período de estiagem.

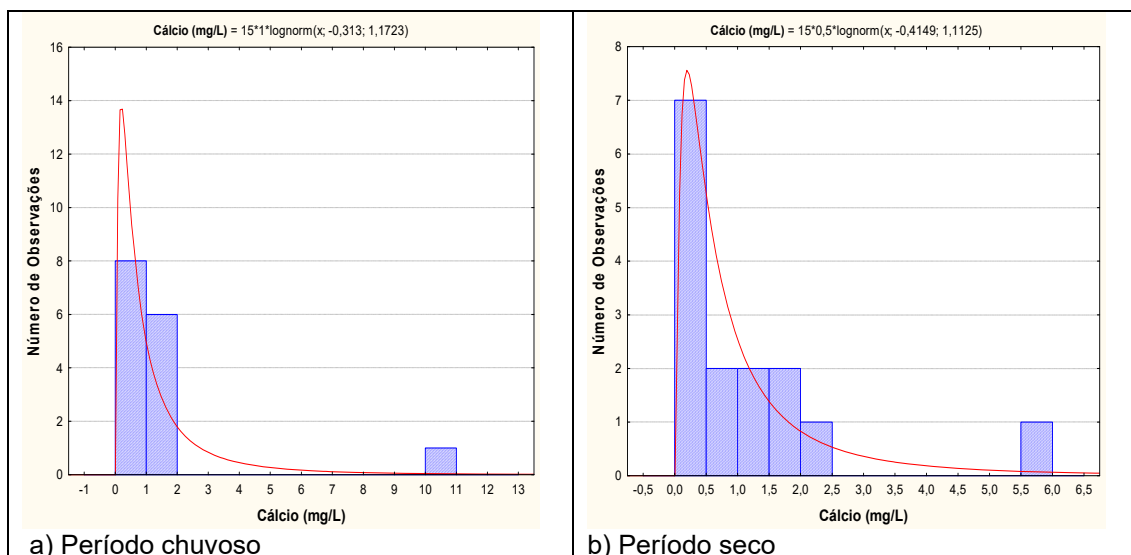


Figura 5.26 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo a **tabela 5.34**, os valores de cálcio no período chuvoso são ligeiramente maiores quando comparados ao período de estiagem, sugerindo alguma influência de sazonalidade. Isso se deve provavelmente a ausência de esgotamento sanitário na área de estudo, haja vista que em ambos os períodos de coleta foi verificada correlação significativa, entre as variáveis Ca, NH₃ e SO₄, como pode ser observado no **item 5.1.8**, o que sugere contaminação das águas subterrâneas a partir da infiltração do esgoto *in natura*.

Tabela 5.34 – Distribuição de probabilidade do Cálcio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Ca-1	0,73125	0,272632	0,162779	0,106324	0,065835	0,047826
Ca-2	0,642814	0,252031	0,15449	0,103126	0,065435	0,048317
Razão	1,138	1,082	1,054	1,031	1,006	0,990

Zoneamento de Cálcio

A distribuição espacial das concentrações de cálcio nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, no período chuvoso (**figura 5.27a**) e no período de estiagem (**figura 5.27b**), revela um predomínio de teores de cálcio nas faixas abaixo de 1 mg/L e de 1,0 a 3 mg/L. Os valores acima de 3 mg/L são pontuais, que se devem provavelmente a atividade antrópica, haja vista que são resultados anômalos quando comparados aos demais valores obtidos nas duas campanhas.

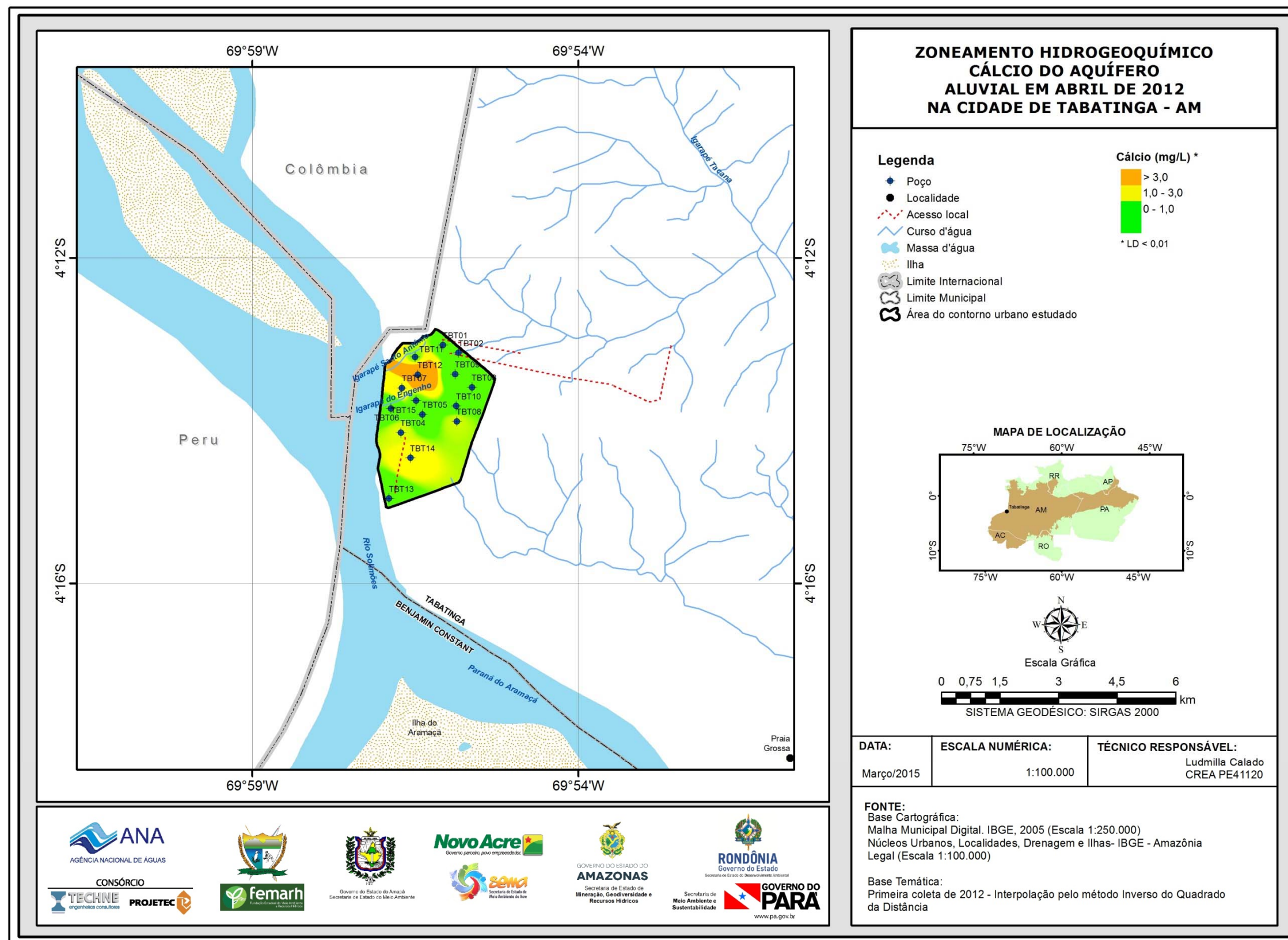


Figura 5.27a – Zoneamento de Cálcio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

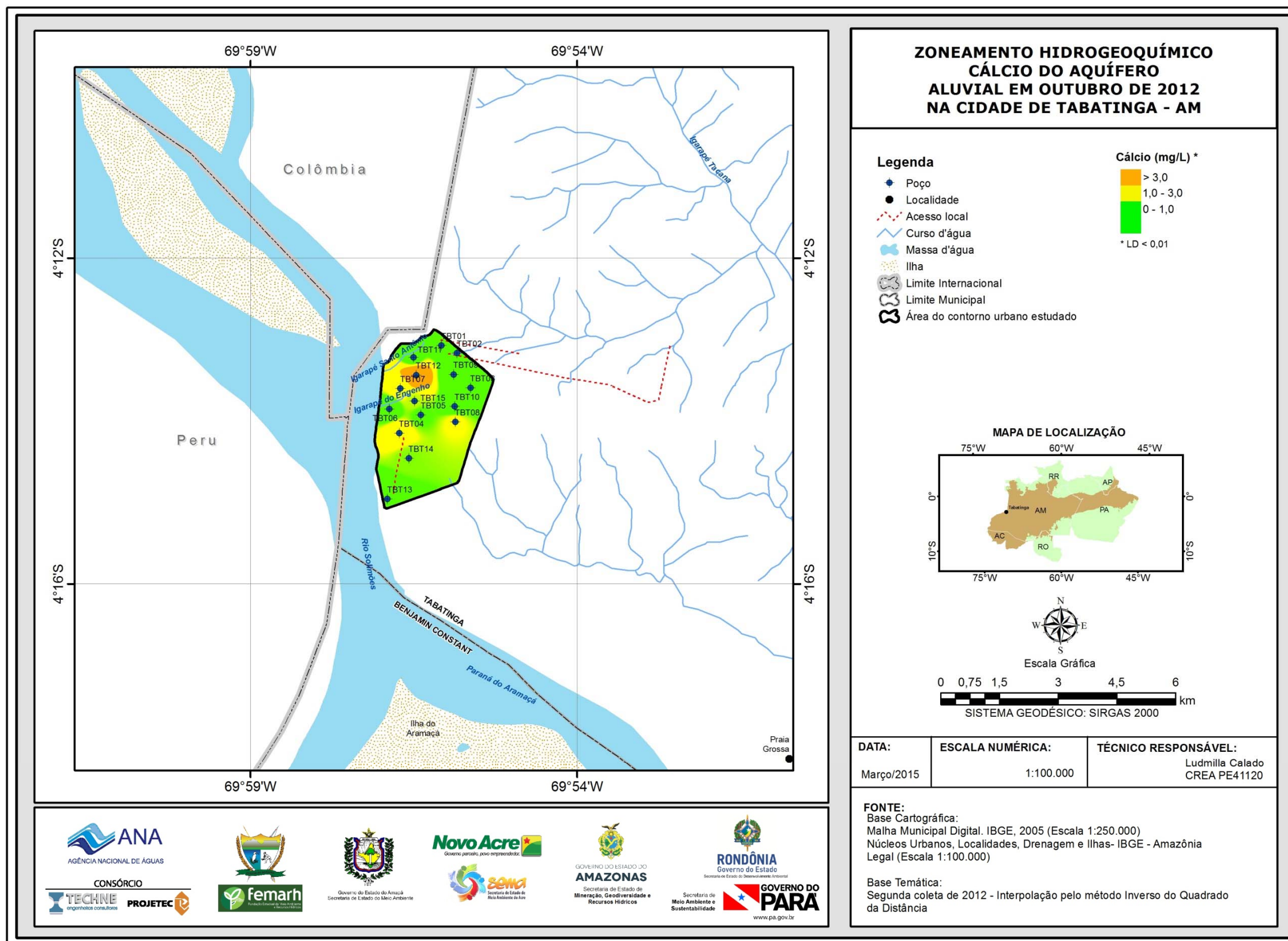


Figura 5.27b – Zoneamento de Cálcio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.8.4 – Magnésio

Devido à sua solubilidade, o magnésio é geralmente encontrado em águas naturais, mas em concentrações menores do que a do cálcio, de 1 a 40 mg/L. O íon magnésio (Mg^{2+}) tem propriedades similares às do íon cálcio, sendo porém mais solúvel e difícil de precipitar. Águas armazenadas em rochas ricas em magnésio têm concentrações que podem atingir 100 mg/L. O magnésio, como o cálcio, contribui para a dureza da água. Concentrações maiores que 100 mg/L são raramente encontradas, exceto em águas do mar e salmouras.

A **tabela 5.35** mostra a estatística descritiva dos teores de magnésio medidos no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga. No período chuvoso, os valores medidos estão compreendidos entre 0,13 e 2,95 mg/L, com média de 0,98 mg/L e mediana de 0,82 mg/L. Na estiagem, as concentrações de cálcio variam de 0,22 a 2,7 mg/L, sendo a média igual a 1,01 mg/L e a mediana igual a 0,78 mg/L.

Tabela 5.35 – Estatística descritiva do Magnésio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Mg-1	15	0,98	0,58	1,37	0,82	0,13	2,95	0,711	0,183	1,67
Mg-2	15	1,01	0,61	1,42	0,78	0,22	2,7	0,73	0,188	1,0932

Os baixos teores de magnésio podem ser justificados pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas, e conseqüentemente a diluição dos elementos ali presentes (**item 2.6**).

Os histogramas de frequência modelados pela lei lognormal de distribuição de probabilidade (**figura 5.28**) permitiram estimar, com nível de risco calculado, os teores de magnésio para o período chuvoso e para o período de estiagem.

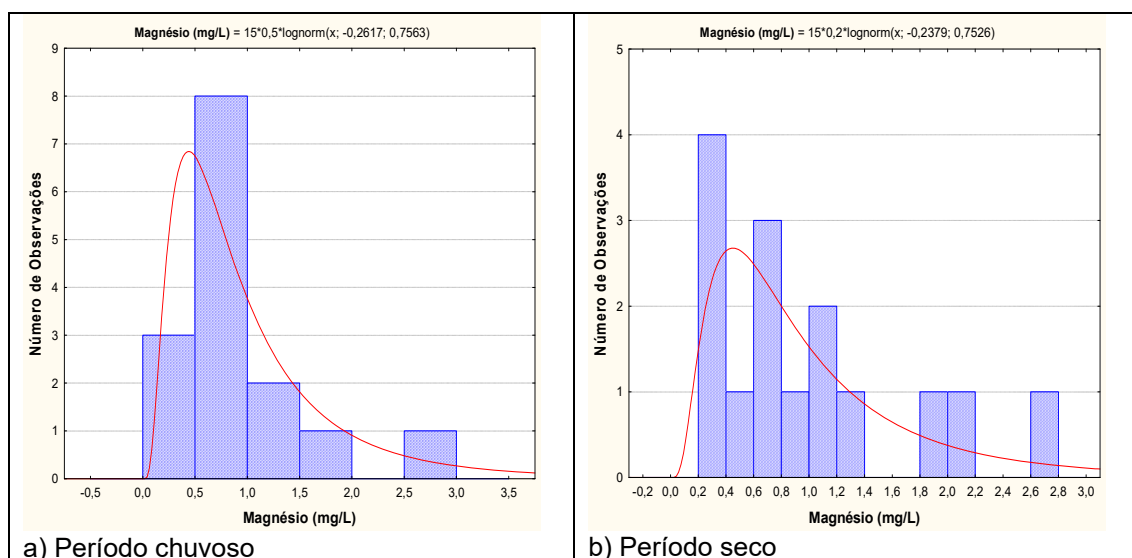


Figura 5.28 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo a **tabela 5.36**, os valores de magnésio no período de estiagem são ligeiramente maiores quando comparados ao período chuvoso, sugerindo

alguma influência de sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é inferior a 1 (um).

Os resultados acima apresentados podem ser justificados, pois Santos *et al.* (1981) ao efetuarem comparação de teores de magnésio encontrados na água dos troncos e na água do lençol freático verificaram que as concentrações são bastante elevadas nos ecossistemas florestais da Amazônia Central, assim como, no período seco, os valores desse elemento são maiores devido principalmente a ação dos ácidos orgânicos que solubiliza o magnésio presente na superfície das folhas e dos caules.

Tabela 5.36 – Distribuição de probabilidade do Magnésio do aquífero Aluvial no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mg-1	0,769742	0,407295	0,292019	0,221861	0,162846	0,132507
Mg-2	0,788282	0,418406	0,300474	0,228592	0,16804	0,136872
Razão	0,976	0,973	0,972	0,971	0,969	0,968

Zoneamento de Magnésio

A distribuição espacial das concentrações de magnésio nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, no período chuvoso (**figura 5.29a**) e no período de estiagem (**figura 5.29b**), apresentam predomínio de valores na faixa de 0 a 1 mg/L, ficando os teores acima dessa faixa de valores restritos a pontos isolados distribuídos ao longo da área de estudo.

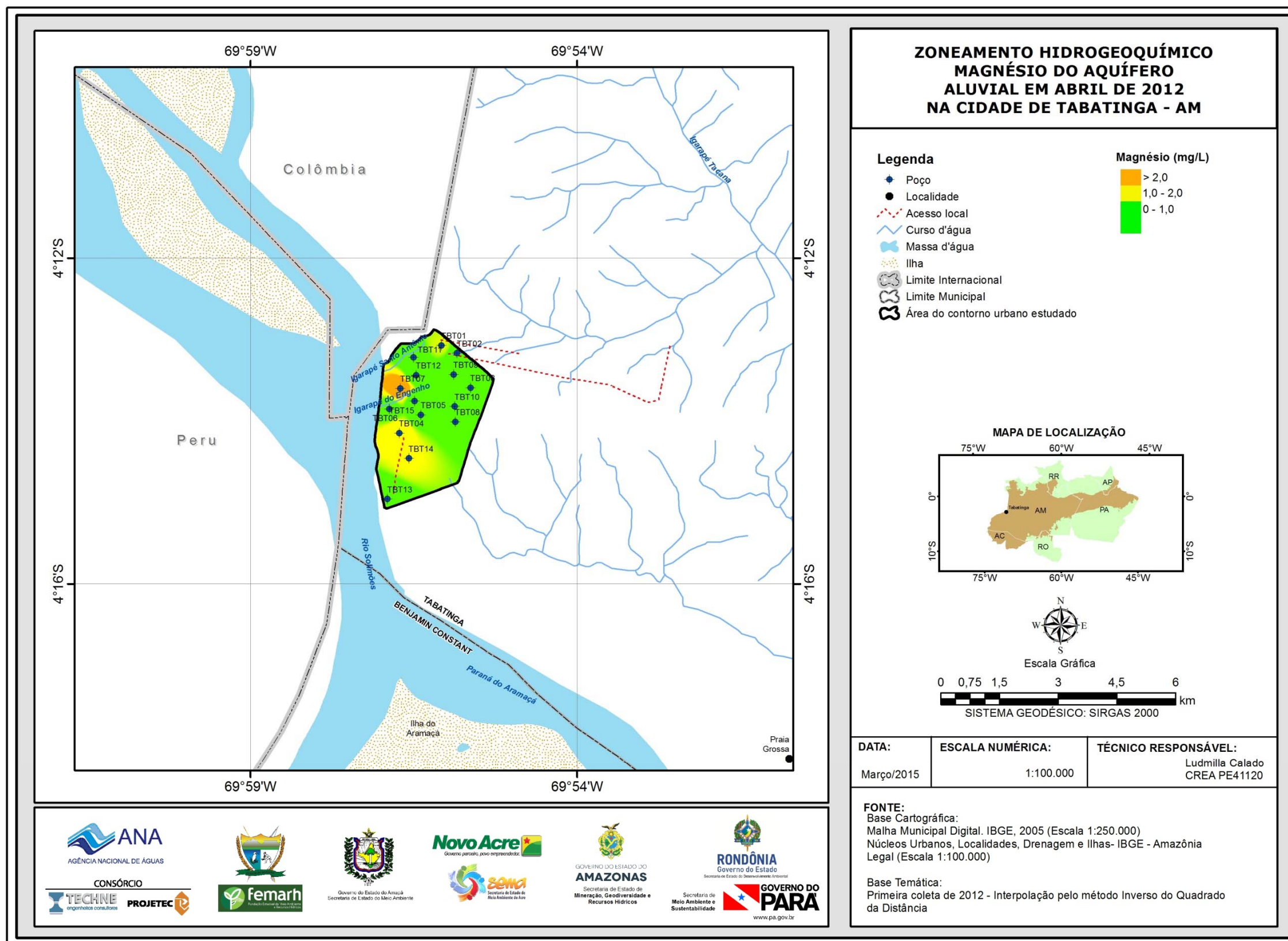


Figura 5.29a – Zoneamento de Magnésio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

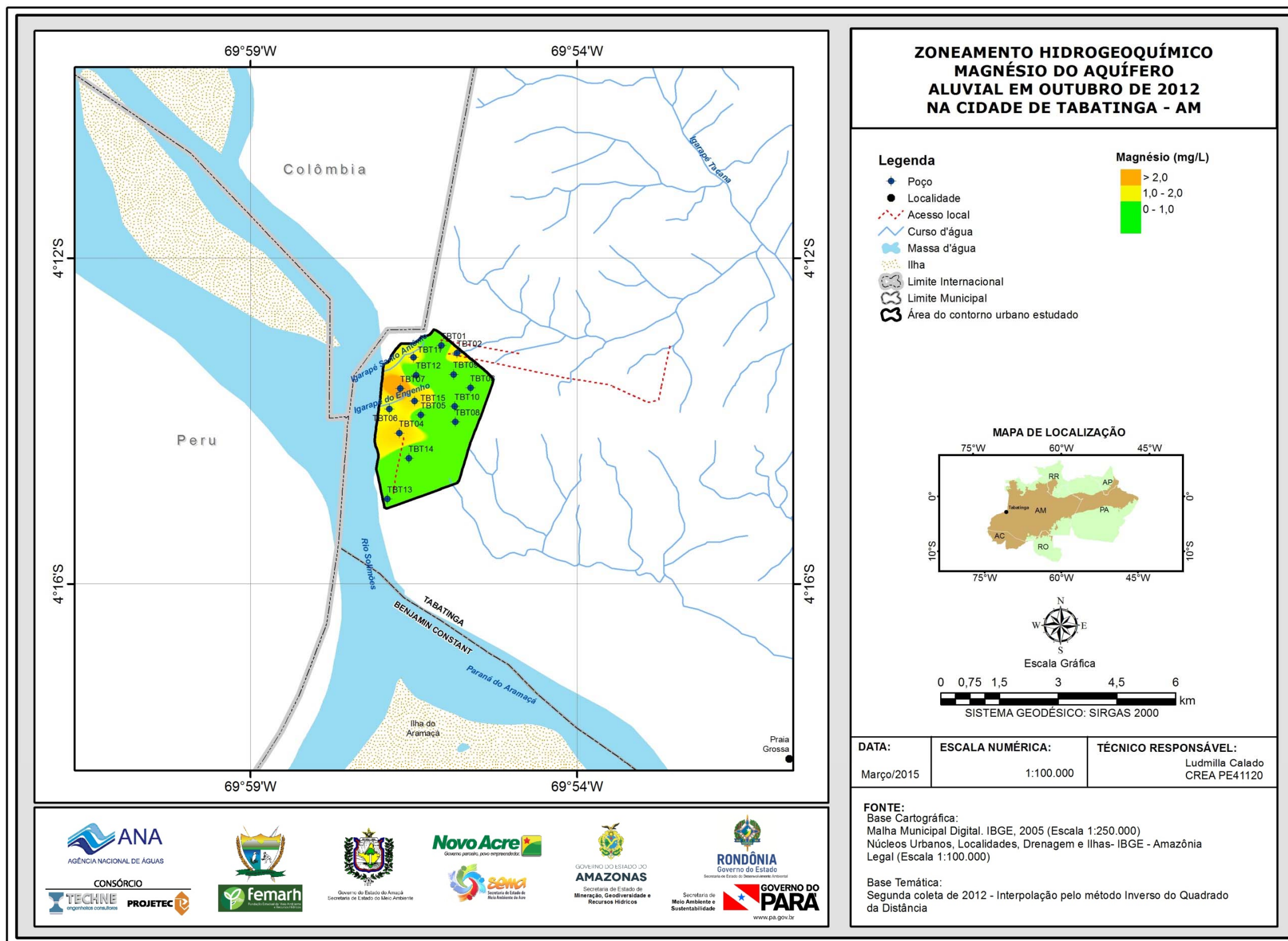


Figura 5.29b – Zoneamento de Magnésio (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.9 – Ânions

5.2.9.1 – Cloreto

Os cloretos (Cl⁻) são muito solúveis, são estáveis em solução e de difícil precipitação; não sofrem oxidação nem redução em águas naturais e estão, em geral, associados aos íons de sódio, na proporção molar 1:1, principalmente em águas salinas.

De acordo com CETESB (2009), o cloreto é o ânion Cl⁻ que se apresenta nas águas subterrâneas oriundo da percolação da água através de solos e rochas. A sua concentração em águas de abastecimento público constitui um padrão de aceitação, já que provoca sabor “salgado” na água em altas concentrações. Por tal motivo, a Portaria MS 2914/11 estabelece como valor máximo permitido (VMP) de padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano, o valor de 250 mg/L. Para Celligoi (1999), a presença de cloreto em águas subterrâneas pode ser atribuída à dissolução de depósitos salinos, descargas de efluentes de indústrias químicas, intrusões salinas, etc. Os íons cloreto são altamente móveis e não são retidos em rochas permeáveis. Em argilitos, cristais de NaCl ou soluções de NaCl podem ser contidos em poros. Os íons cloreto normalmente nas águas subterrâneas são presentes em baixas concentrações (<10 mg/L). Altas concentrações podem indicar poluição antrópica.

A **tabela 5.37** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto amostrados nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga. No período chuvoso (abril de 2012), os valores de cloreto variaram de 0,9 a 29,75 mg/L, com média de 7,93 mg/L e mediana de 4,2 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 0,49 a 25,8 mg/L com média de 7,97 mg/L e mediana de 6,02 mg/L. Todos os poços amostrados, em ambas as campanhas, apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP estabelecido pelo Portaria MS 2914/11.

Tabela 5.37 – Estatística descritiva do Cloreto do aquífero Aluvial no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.

Cl	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Cl-1	15	7,93	3,46	12,4	4,2	0,9	29,75	8,072	2,084	1,676
Cl-2	15	7,97	3,33	12,62	6,02	0,49	25,8	8,39	2,166	1,2059

Na primeira campanha, 13% (2/15) das amostras apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 1 mg/L, enquanto que 7% (1/15) das amostras apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 2 mg/L. Na segunda campanha, 13% (2/15) dos poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 5.1.3**).

Em ambas as coletas, todas as amostras apresentaram teores de cloreto inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, de 250 mg/L para consumo humano; 100 a 700 mg/L para irrigação; e de 400 mg/L para recreação, indicando que as águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga podem ser empregadas para tais usos, de acordo com este parâmetro.

Na **figura 5.30** se encontram os histogramas de frequência dos teores de cloreto amostrados nas duas campanhas e as respectivas curvas fornecidas pelo modelo de distribuição de probabilidade lognormal aplicado para estimativa, com risco calculado, dos teores de cloreto no aquífero Aluvial, em Tabatinga, no período chuvoso e de estiagem.

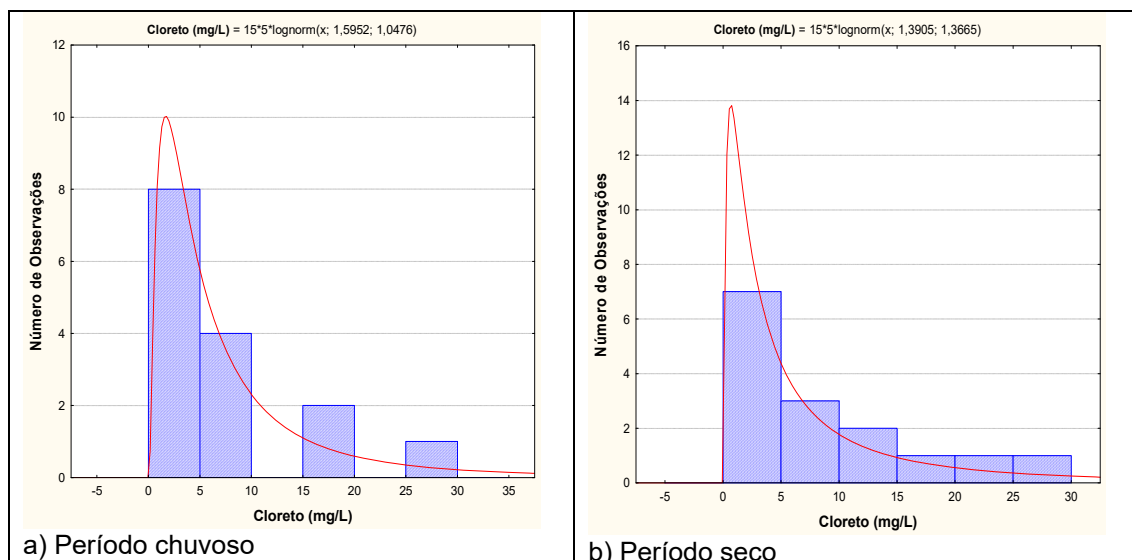


Figura 5.30 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo a **tabela 5.38**, os valores de cloreto no período chuvoso são ligeiramente maiores quando comparados ao período de estiagem, sugerindo alguma influência de sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é superior a 1 (um).

Apesar de nenhum dos valores de cloreto obtidos nas duas campanhas ultrapassarem os limites estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011, segundo Pohling (2009), quando o teor de cloreto está elevado na água e não há influência de fatores geológicos, essa contaminação pode ser proveniente de efluentes domésticos ou industriais, o que é plausível na área de estudo, haja vista que a maioria dos poços é construída nas proximidades imediatas das fossas sépticas e que a região é urbanizada e desprovida de sistema de esgotamento sanitário.

Tal premissa pode ser ratificada a partir dos resultados obtidos na primeira coleta, onde foi verificada correlação altamente significativa entre as variáveis Cl e NO₃, conforme descrito no **item 5.1.8**, o que sugere contaminação das águas subterrâneas a partir da infiltração do esgoto *in natura*.

Tabela 5.38 – Distribuição de probabilidade do Cloreto do aquífero Aluvial no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cl-1	4,929315	2,041159	1,287428	0,879899	0,573322	0,430899
Cl-2	4,016858	1,271789	0,69716	0,424352	0,242695	0,167218
Razão	1,227	1,605	1,847	2,074	2,362	2,577

Zoneamento de Cloreto

No período chuvoso (abril de 2012) e no período de estiagem (outubro de 2012), a distribuição espacial dos teores de cloreto no aquífero Aluvial, em Tabatinga, apresentada respectivamente na **figura 5.31a** e **figura 5.31b**, mostra um predomínio nas classes de 1 a 5 mg/L e de 5 a 10 mg/L na área de estudo. Em ambas as campanhas, valores abaixo e/ou acima dessas faixas podem ser observados em pontos isolados.

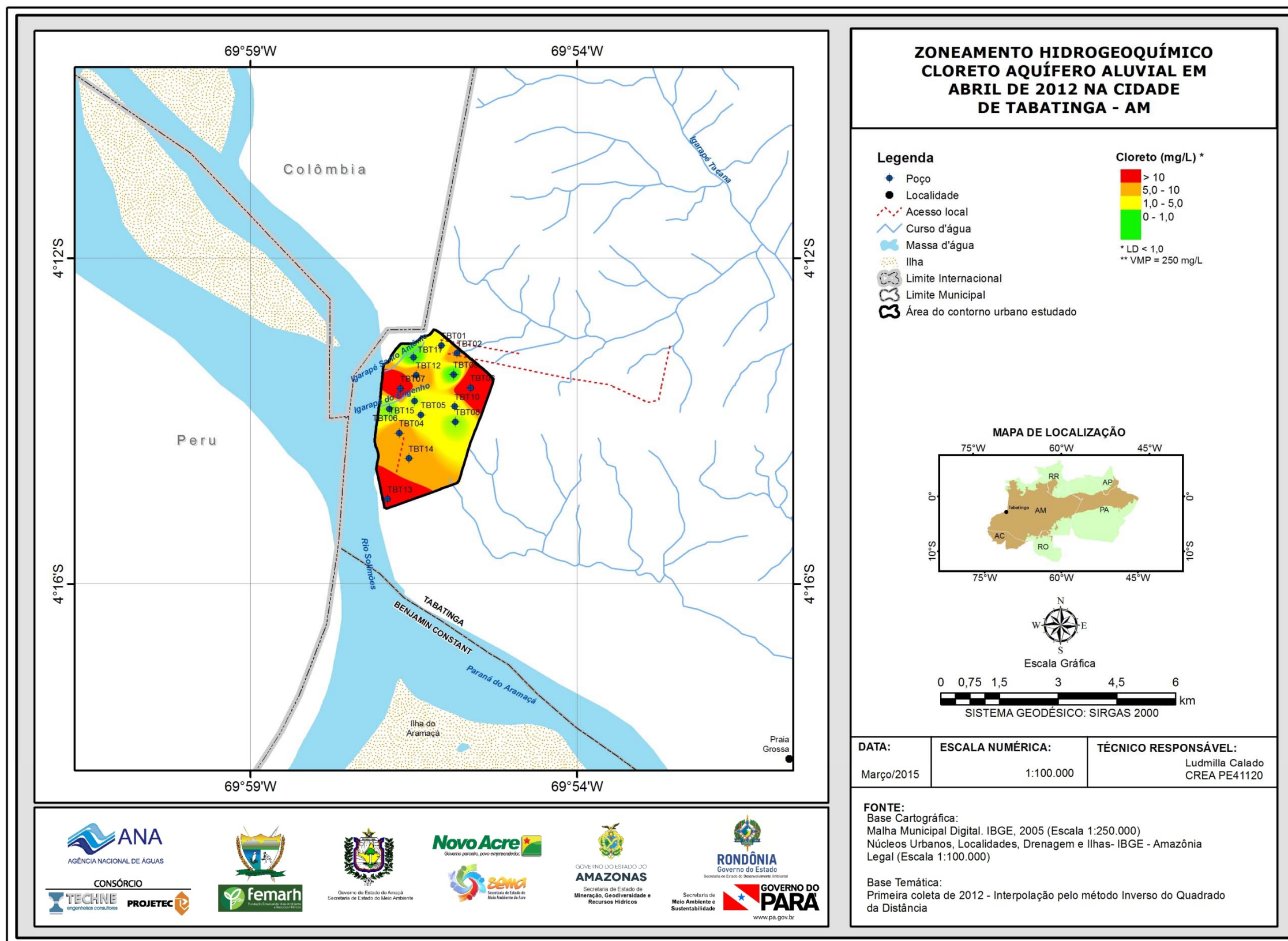


Figura 5.31a – Zoneamento de Cloreto (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

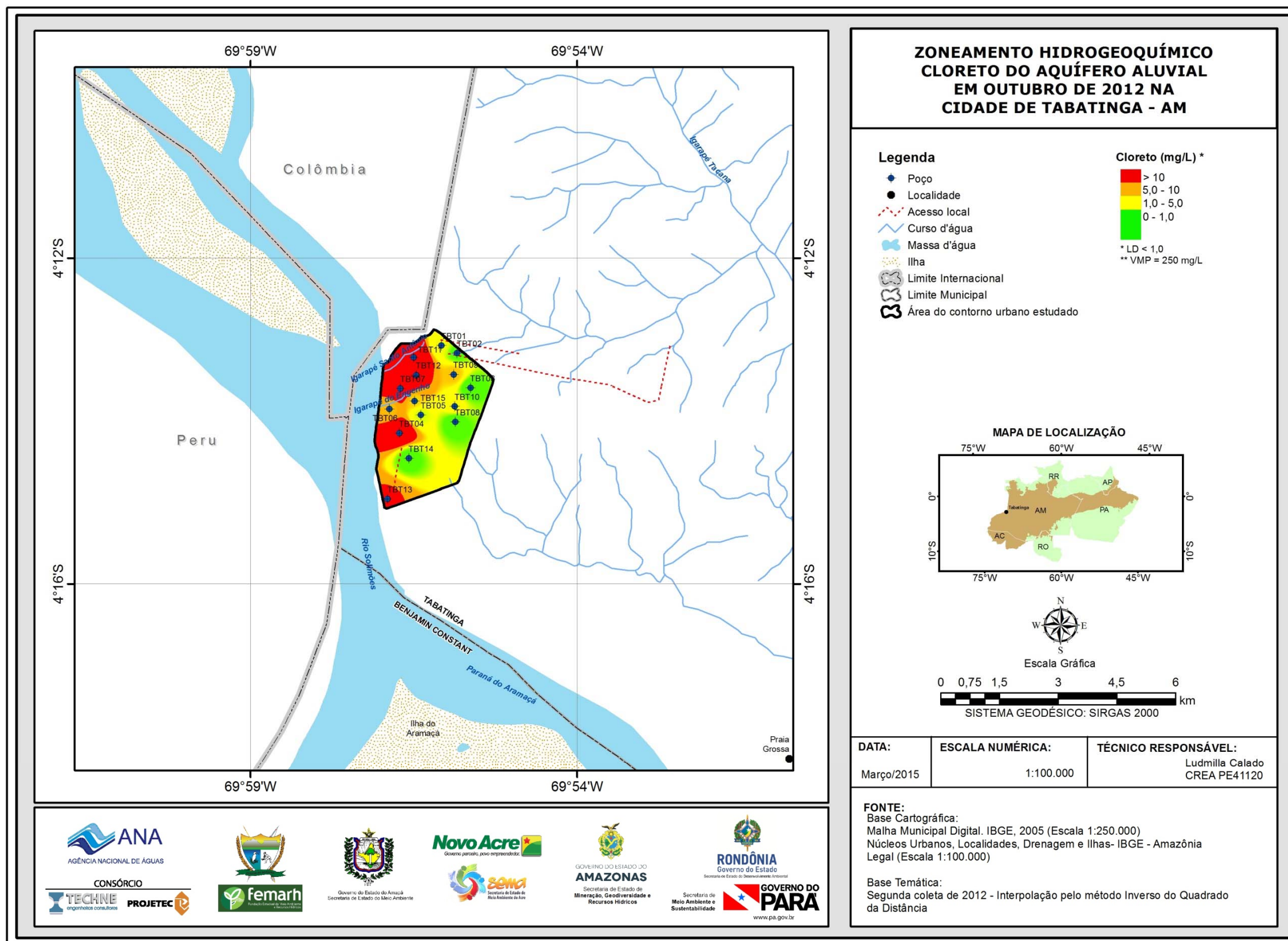


Figura 5.31b – Zoneamento de Cloreto (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.9.2 – Sulfato

O enxofre pode se apresentar de diversas formas, tais como sulfato (SO_4^{2-}), sulfito (SO_3^{2-}), sulfeto (S^{2-}), sulfeto de hidrogênio (H_2S), dióxido de enxofre (SO_2), ácido sulfúrico ($\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$), enxofre molecular (S^0) e associado a metais, como sulfeto de ferro (FeS). Dentre essas várias formas, o sulfato e o sulfeto de hidrogênio são as mais frequentes. O sulfato (SO_4^{2-}) é um dos íons mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto (Parron *et al.*, 2011; CETESB, 2009).

Segundo Celligoi (1999), o enxofre ocorre principalmente em gases magmáticos. A maior parte do elemento nas rochas ocorre em minerais como o gipso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4). Consideráveis quantidades de sulfato são adicionadas ao ciclo hidrológico com as precipitações da atmosfera. Vêm do "spray" do mar, da poeira dos continentes e da oxidação de gás sulfídrico (H_2S), bem como das substâncias orgânicas do solo. Nas águas subterrâneas circulantes em rochas ígneas, a concentração de sulfato é baixa ($< 30 \text{ mg/L}$).

Em águas para consumo humano, a Portaria do Ministério da Saúde 2914/2011 recomenda que as concentrações de sulfato não excedam 250 mg/L , pois acima deste valor, a sua ingestão provoca efeito laxativo.

A estatística descritiva apresentada na **tabela 5.39** indica que os teores de sulfato nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, no período chuvoso, variam de $0,49$ a $5,58 \text{ mg/L}$, apresentando média de $1,14 \text{ mg/L}$ e mediana de $0,49 \text{ mg/L}$. No período seco, os teores variaram de $0,49$ a $5,66 \text{ mg/L}$, com média de $0,99 \text{ mg/L}$ e mediana de $0,49 \text{ mg/L}$.

Tabela 5.39 – Estatística descritiva do Sulfato do aquífero Aluvial no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
S-1	15	1,14	0,39	1,88	0,49	0,49	5,58	1,348	0,348	3,002
S-2	15	0,99	0,25	1,73	0,49	0,49	5,66	1,34	0,347	3,4298

Na primeira campanha, 53% (8/15) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de $0,5 \text{ mg/L}$, enquanto que 27% (4/15) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 1 mg/L .

Na segunda campanha, 73% (11/15) das amostras estiveram abaixo do limite de detecção de $0,5 \text{ mg/L}$. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 5.1.3**).

Em ambas as campanhas, todas os poços apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 e pela Resolução CONAMA 396/2008, para consumo humano ($250.000 \mu\text{g.L}^{-1}$), dessedentação animal ($1.000.000 \mu\text{g.L}^{-1}$) e recreação ($400.000 \mu\text{g.L}^{-1}$), sendo recomendado a água do aquífero Aluvial para todos os usos nela prescritos.

Os histogramas da **figura 5.32** representativos dos pontos amostrados nas campanhas de abril de 2012 e de outubro de 2012 foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar com risco calculado que no período chuvoso os teores de sulfato em Tabatinga são superiores aos do período de estiagem, o que sugere influência

de sazonalidade, haja vista que a razão entre os dois períodos de coleta é superior a 1 (um), conforme pode ser observado na **tabela 5.40**. Tais resultados são justificáveis, pois como a área de estudo é muito plana e periodicamente afetada por inundações, pode ocorrer o transbordamento de fossas sépticas, cujos dejetos se misturam às águas superficiais, de modo que pode haver infiltração de água contaminada, principalmente no período chuvoso, haja vista que a maioria dos poços é construída nas proximidades imediatas das fossas sépticas e não possuem a devida proteção sanitária.

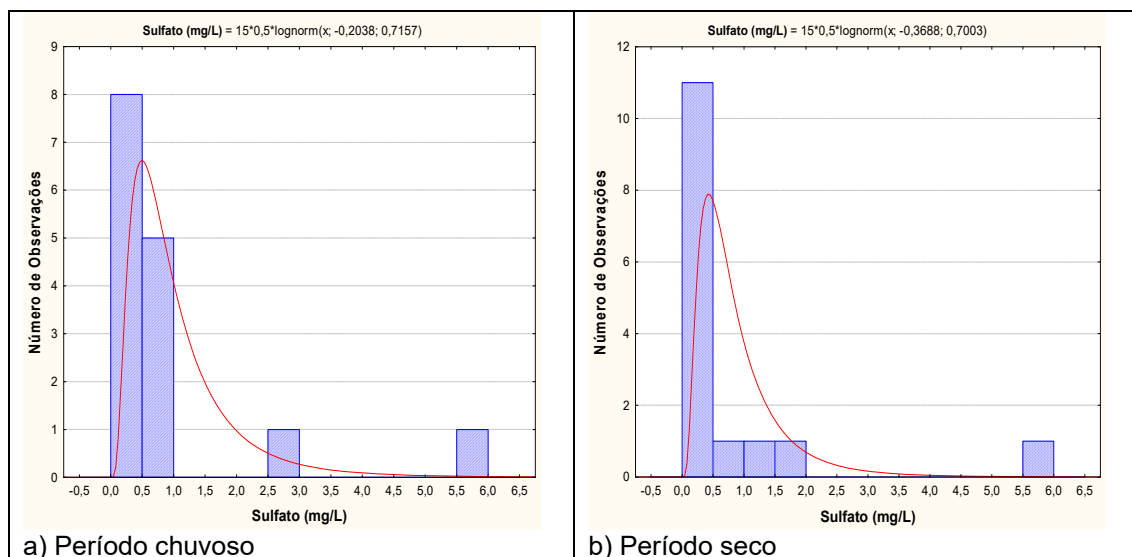


Figura 5.32 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Fazzio *et al.* (2009) descrevem que o crescente aumento da população urbana tem ocasionado um somatório de contaminantes lançados nas águas subterrâneas, oriundos das mais diversas fontes, relacionadas com o espaço urbano, tais como, fossas sépticas, cemitérios, vazamentos em postos de combustível, lixões, agrotóxicos, poços profundos mal instalados ou abandonados, lançamento de resíduos domésticos e industriais, dentre outros.

Tabela 5.40 – Distribuição de probabilidade do Sulfato do aquífero Aluvial no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
S-1	0,815625	0,446575	0,325952	0,251322	0,187558	0,154314
S-2	0,692948	0,384356	0,282445	0,218998	0,164468	0,135886
Razão	1,177	1,162	1,154	1,148	1,140	1,136

Zoneamento do Sulfato

A distribuição espacial dos teores de sulfato no aquífero Aluvial, no período chuvoso de abril de 2012 (**figura 5.33a**) e no período seco de outubro de 2012 (**figura 5.33b**), revela um predomínio de concentrações nas faixas de 0 a 0,5 mg/L e de 0,5 a 1,0 mg/L. Em ambas as coletas, valores acima de 1 mg/L podem ser observados em pontos isolados.

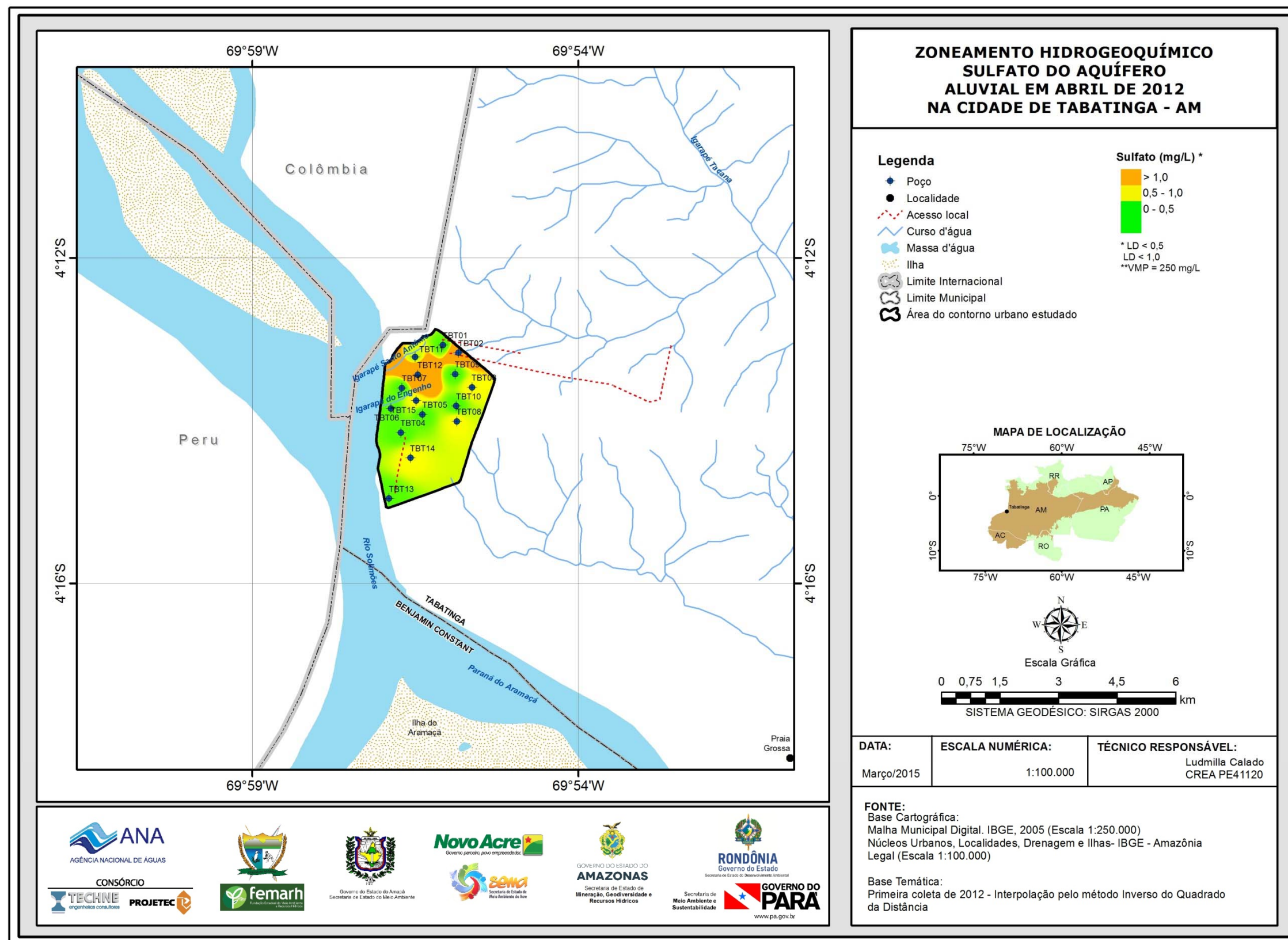


Figura 5.33a – Zoneamento de Sulfato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

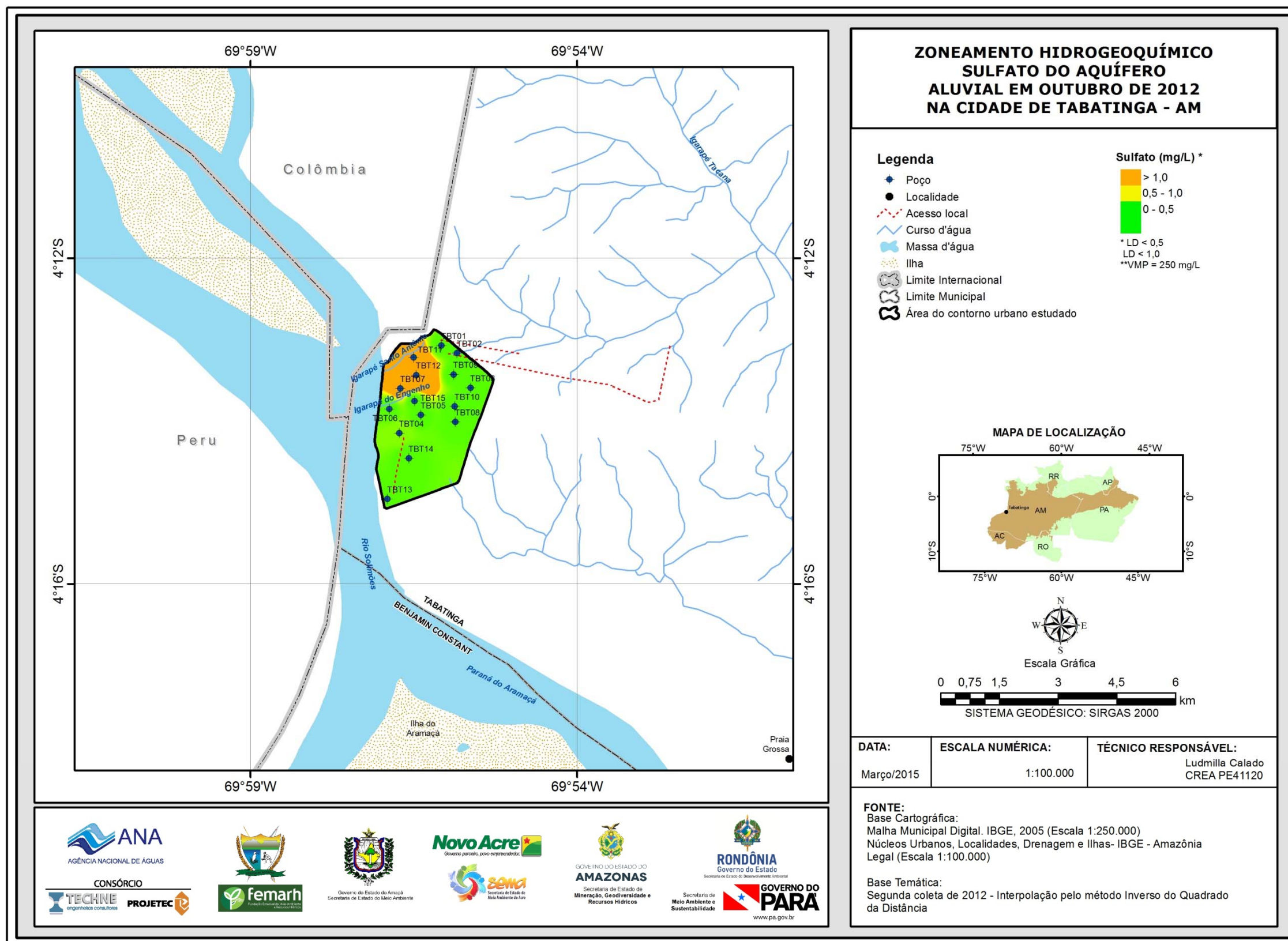


Figura 5.33b – Zoneamento de Sulfato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.9.3 – Bicarbonato

A maioria dos íons bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}) em águas subterrâneas são derivados do dióxido de carbono na atmosfera e no solo e de soluções de rochas carbonatadas. Águas bicarbonatadas sódicas podem ser concentradas nos solos por evaporação, mas se muito cálcio estiver presente, o bicarbonato é retirado da água através da precipitação de carbonato de cálcio.

A concentração de bicarbonato em águas subterrâneas varia normalmente de 10 a 800 mg/L, sendo mais comuns concentrações entre 50 e 400 mg/L. Existe uma forte relação entre o pH da água e as concentrações do gás carbônico (CO_2), dos bicarbonatos (HCO_3^-) e dos carbonatos (CO_3^{2-}), sendo que estes dois íons definem a alcalinidade das águas.

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11 não há restrição quanto às concentrações de bicarbonato para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido.

A estatística descritiva dos teores de bicarbonato nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga (**tabela 5.41**), revela que 27% (4/15) das amostras na primeira campanha obtiveram valores iguais a zero, enquanto que na segunda amostragem esses valores alcançaram 20% (3/15).

Tabela 5.41 – Estatística descritiva do Bicarbonato do aquífero Aluvial no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
B-1	15	11,73	5,82	17,64	10	0	35	10,33	2,67	0,70
B-2	15	12,8	7,78	17,82	14	0	25	8,77	2,26	-0,25

No período chuvoso, as concentrações de bicarbonato oscilaram entre 0 e 35 mg/L, com média de 11,73 e mediana igual a 10 mg/L. No período de estiagem as concentrações ficaram compreendidas entre 0 e 25 mg/L, com média de 12,8 mg/L e mediana igual a 14 mg/L.

Os histogramas da **figura 5.34** representativos dos pontos amostrados nas campanhas de abril de 2012 e de outubro de 2012 não foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal, porque o ajuste não pode ser feito com a presença de zero.

Dessa forma, a modelagem geoestatística (**tabela 5.42**) foi feita utilizando apenas as amostras com valores quantificáveis, ou seja, 11 e 12, respectivamente para a primeira e segunda campanha. Analisando as médias e medianas obtidas nas duas campanhas (**tabela 5.41**), é possível concluir que os teores de bicarbonato são maiores no período de estiagem, o que sugere influência de sazonalidade, haja vista que a razão entre os dois períodos de coleta é inferior a 1 (um), conforme pode ser observado na **tabela 5.42**.

Tais resultados são coerentes, pois no período seco, ocorre uma maior decomposição das folhas caídas no solo e de acordo com Obiefuna & Sheriff (2011), a origem do bicarbonato nas águas subterrâneas está relacionada principalmente aos processos que produzem o gás carbônico no solo por meio

da decomposição e oxidação da matéria orgânica e à respiração das raízes das plantas.

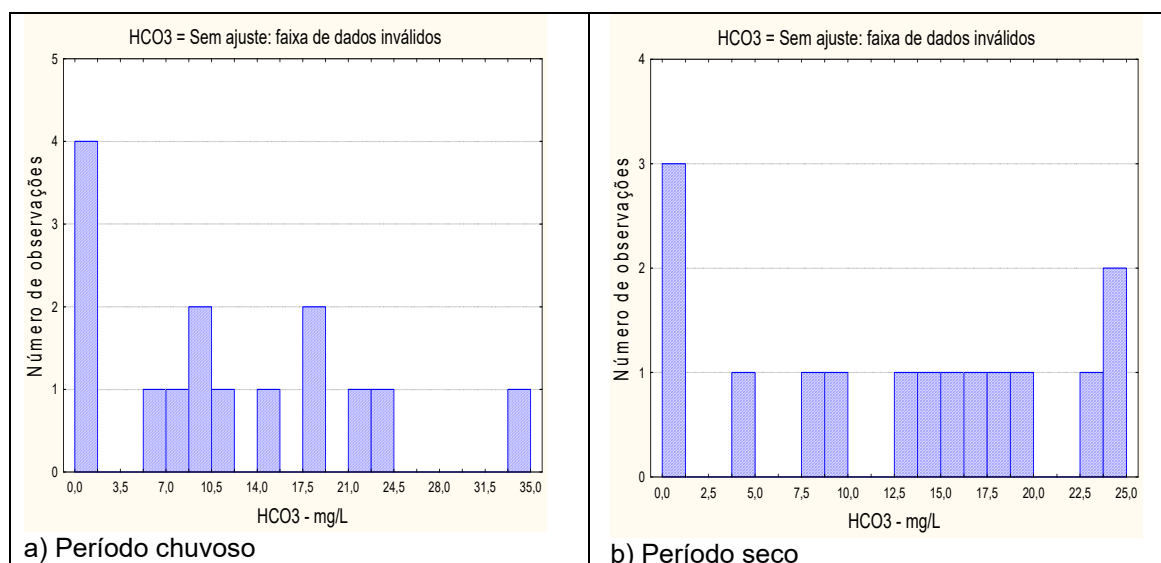


Figura 5.34 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Lopes *et al.* (2013), os valores extremamente baixos de bicarbonato podem estar relacionados com as variações da alcalinidade total, uma vez que uma alteração nas concentrações dos íons carbonato e bicarbonato provoca também alterações nos valores de pH de uma solução, já que esses três íons (H⁺, CO₃²⁻ e HCO₃⁻) constituem um verdadeiro sistema em equilíbrio. Assim, a reação entre os dois primeiros, com a formação do terceiro, provoca uma diminuição das concentrações do carbonato e um aumento das concentrações do bicarbonato. O que torna o processo dinâmico e faz com que um elemento seja facilmente convertido em outro por meio de reações que ocorrem no ambiente.

Tabela 5.42 – Distribuição de probabilidade do Bicarbonato do aquífero Aluvial no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
B-1	14,06656	8,966079	7,085438	5,833626	4,687217	4,05103
B-2	14,52978	9,592948	7,721515	6,454604	5,275564	4,611774
Razão	0,968	0,935	0,918	0,904	0,888	0,878

Zoneamento do Bicarbonato

A distribuição espacial dos teores de bicarbonato no aquífero Aluvial, no período chuvoso de abril de 2012 (**figura 5.35a**) e no período seco de outubro de 2012 (**figura 5.35b**), revela um predomínio de concentrações nas faixas de 0 a 10 mg/L e de 10 a 20 mg/L. Em ambas as coletas, valores acima de 20 mg/L podem ser observados em pontos isolados.

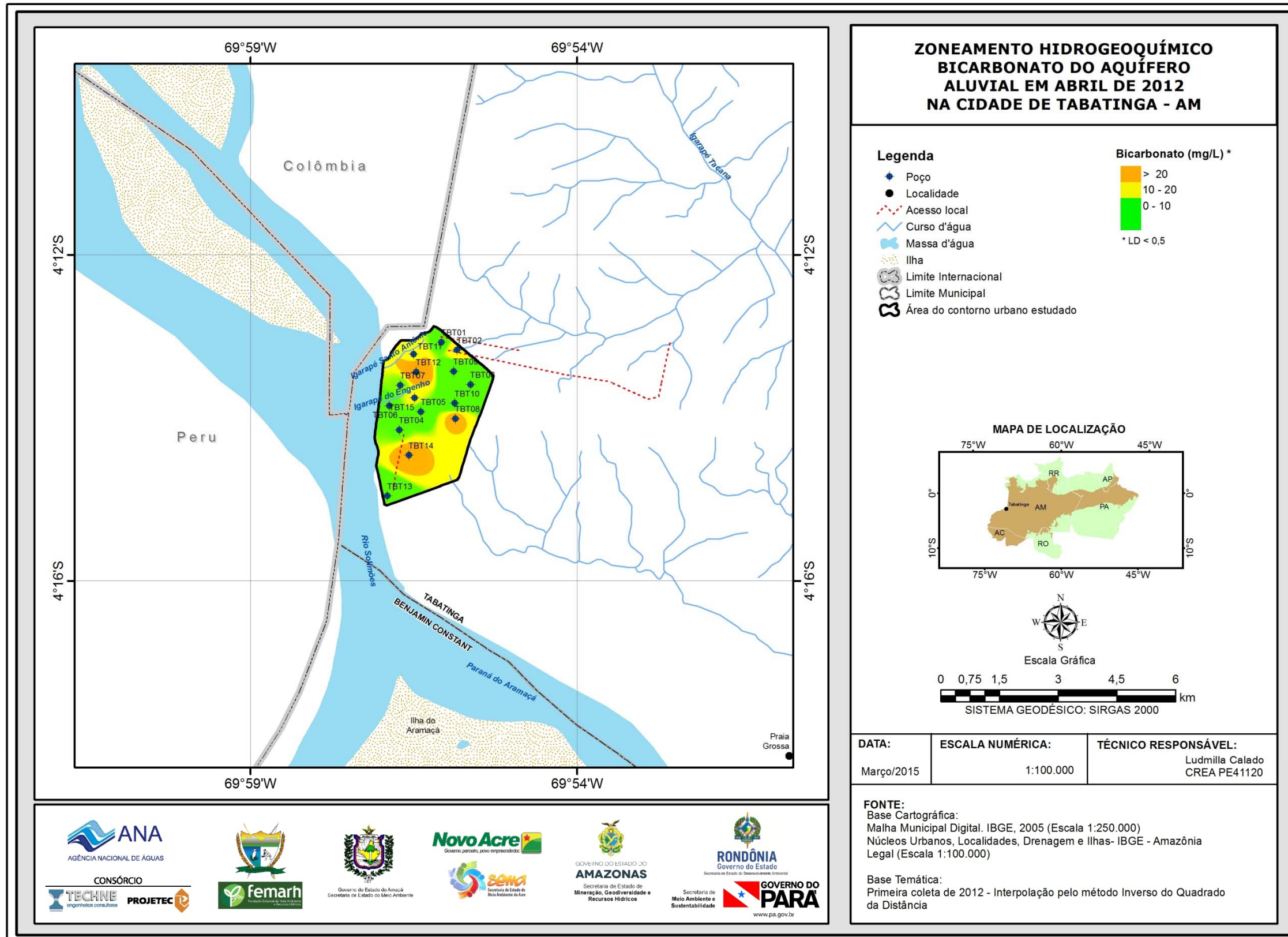


Figura 5.35a – Zoneamento de Bicarbonato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga – AM.

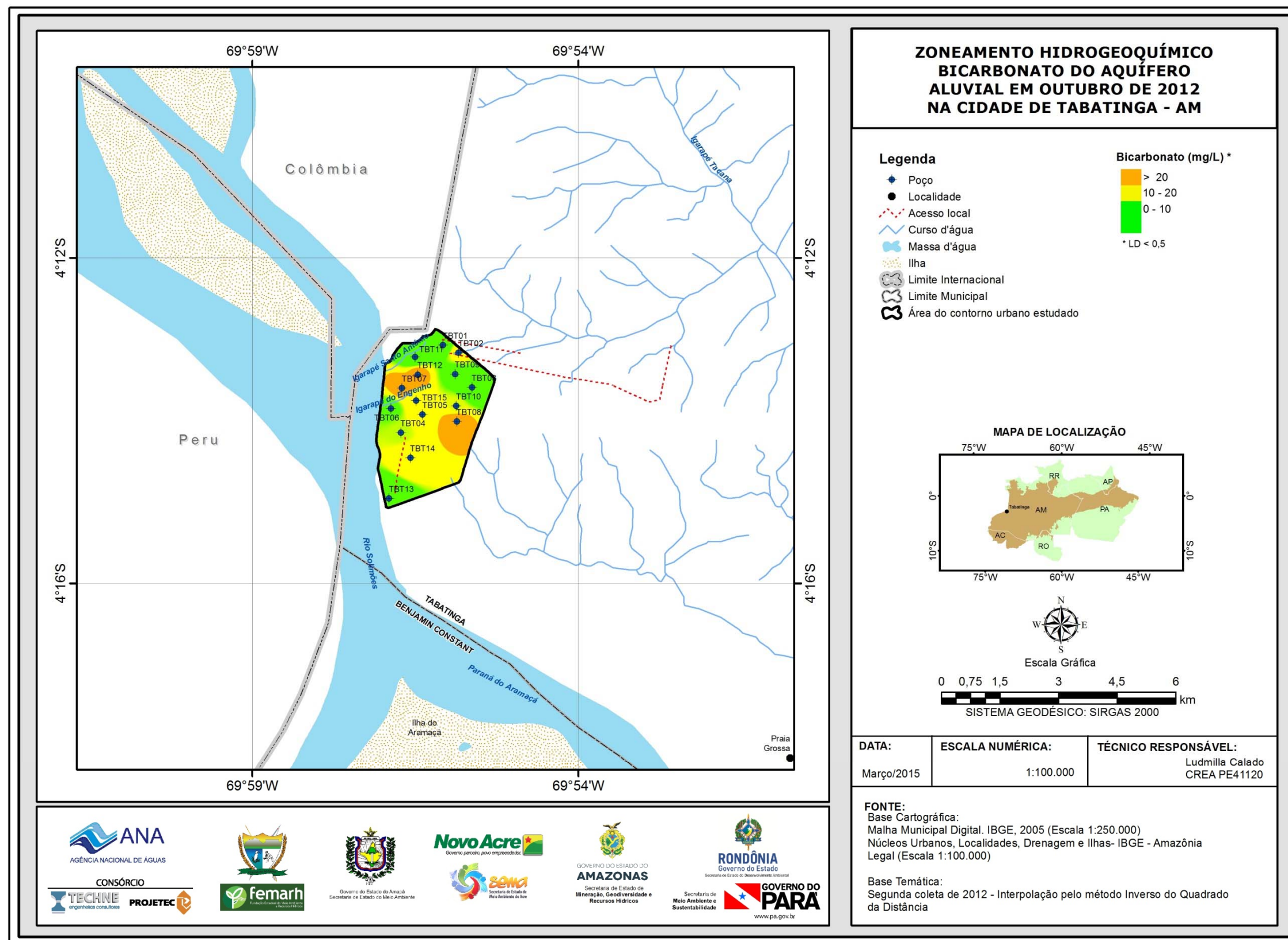


Figura 5.35b – Zoneamento de Bicarbonato (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga – AM.

5.2.10 – Dureza

A dureza da água mede o grau de impedimento da ação do sabão e pode ser expressa como dureza temporária, dureza permanente e dureza total. A dureza temporária ou dureza de carbonatos é causada pelos íons de cálcio e de magnésio combinados, podendo ser eliminada com a ebulição da água.

A dureza permanente ou dureza não carbonatada é a dureza que persiste após a fervura da água; é produzida pelos íons de cálcio e de magnésio combinados com os íons de sulfato, cloreto, nitrato e outros. A dureza total é a soma da dureza temporária com a dureza permanente, é usualmente expressa em mg/L (CaCO_3) e dada pela equação:

$$\text{Dureza total} = 2,5 [\text{Ca}^{2+}] + 4,1[\text{Mg}^{2+}]$$

De acordo com Von Sperling (2005), em termos de tratamento e abastecimento público, as águas podem ser classificadas de acordo com seu grau de dureza, conforme descreve a **tabela 5.43**.

Tabela 5.43 – Classificação das águas segundo a sua faixa de valor de dureza (Von Sperling, 2005).

Dureza (mg/L de CaCO_3)	Tipo de Água
< 50	Mole
50 - 150	Moderada
150 - 300	Dura
> 300	Muito Dura

A estatística descritiva da dureza das águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga (**tabela 5.44**) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 0,83 e 29,89 mg/L, com média de 7,8 mg/L e mediana de 5,85 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 1,33 a 15,79 mg/L, com média de 7,03 mg/L e mediana de 5,58 mg/L.

Tabela 5.44 – Estatística descritiva da Dureza do aquífero Aluvial no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
D-1	15	7,8	3,73	11,87	5,85	0,83	29,89	7,354	1,899	2,208
D-2	15	7,03	4,33	9,72	5,58	1,33	15,79	4,87	1,256	0,7967

Em ambas as campanhas, nenhum dos poços amostrados ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO_3 .

Segundo a classificação de Von Sperling (2005), as águas do aquífero Aluvial na região de estudo, no período chuvoso e de estiagem, são 100% (15/15) do tipo mole.

Os histogramas de frequência dos teores de dureza ilustrados na **figura 5.36** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para dureza com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.45**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os valores de dureza no período de chuvoso são maiores do que os do período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade. Isto provavelmente se

deve ao fato de que no período chuvoso os teores de cálcio foram mais elevados enquanto que os teores de magnésio se mantiveram praticamente constantes nos dois períodos, sendo, portanto, de se esperar que a dureza apresente o mesmo comportamento do Ca^{2+} .

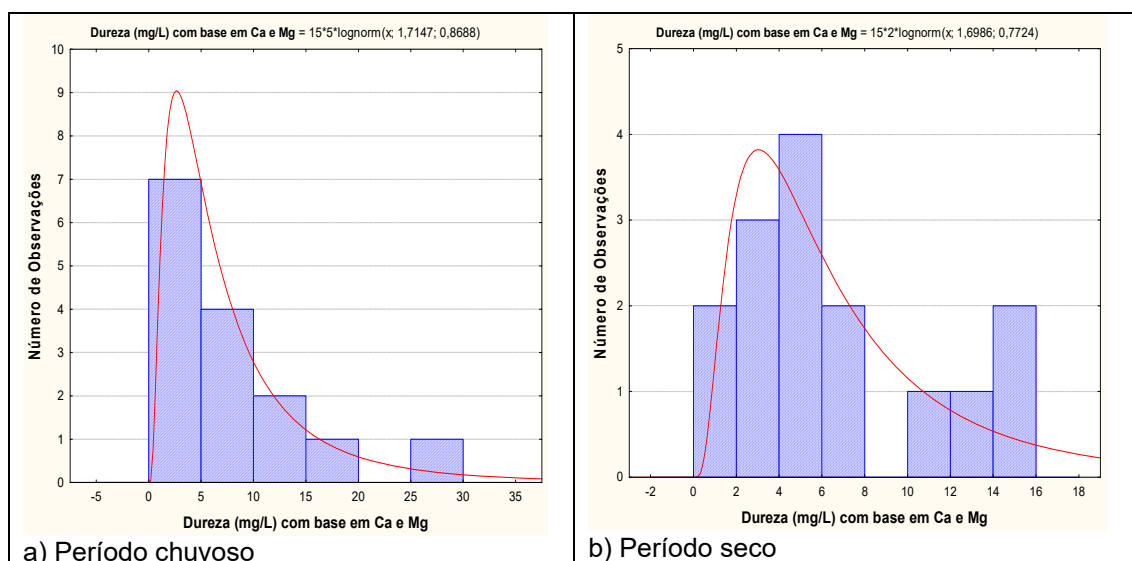


Figura 5.36 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2002), a água subterrânea é geralmente de boa qualidade, porém em alguns casos pode conter alta concentração de sais, entre eles os de cálcio e de magnésio, por estar intimamente em contato com materiais solúveis do solo e das rochas, no seu entorno e em áreas de recarga, e assim, apresentar elevado teor de dureza. Aliado a isso, a baixa velocidade de fluxo, as maiores pressões e temperaturas, a fonte de recarga do aquífero e o clima da região contribuem para a maior mineralização da água subterrânea. Secundariamente, as características dessa água se relacionam com os produtos de atividades humanas desenvolvidas na superfície.

Tabela 5.45 – Distribuição de probabilidade da Dureza do aquífero Aluvial no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	5,555009	2,673797	1,824467	1,330628	0,93277	0,736069
D-2	5,466289	2,853458	2,031409	1,534363	1,118831	0,906403
Razão	1,016	0,937	0,898	0,867	0,834	0,812

Zoneamento de Dureza

A distribuição espacial dos teores de dureza no aquífero Aluvial no período chuvoso de abril de 2012 (**figura 5.37a**) e no período seco de outubro de 2012 (**figura 5.37b**), revela um domínio de concentrações nas faixas de 0 a 5 mg/L e de 5 a 10 mg/L. Nas duas campanhas de amostragem, os teores de dureza superiores a 10 mg/L se restringem a pontos isolados na área de estudo.

A representação espacial dos teores de dureza apresenta uma semelhança com as distribuições espaciais do cálcio e do magnésio, conforme pode ser observado nos **itens 5.2.8.3 e 5.2.8.4**, o que é plausível, haja vista que a composição da dureza é de 2,5 mg/L de Ca^{2+} + 4,5 mg/L de Mg^{2+} .

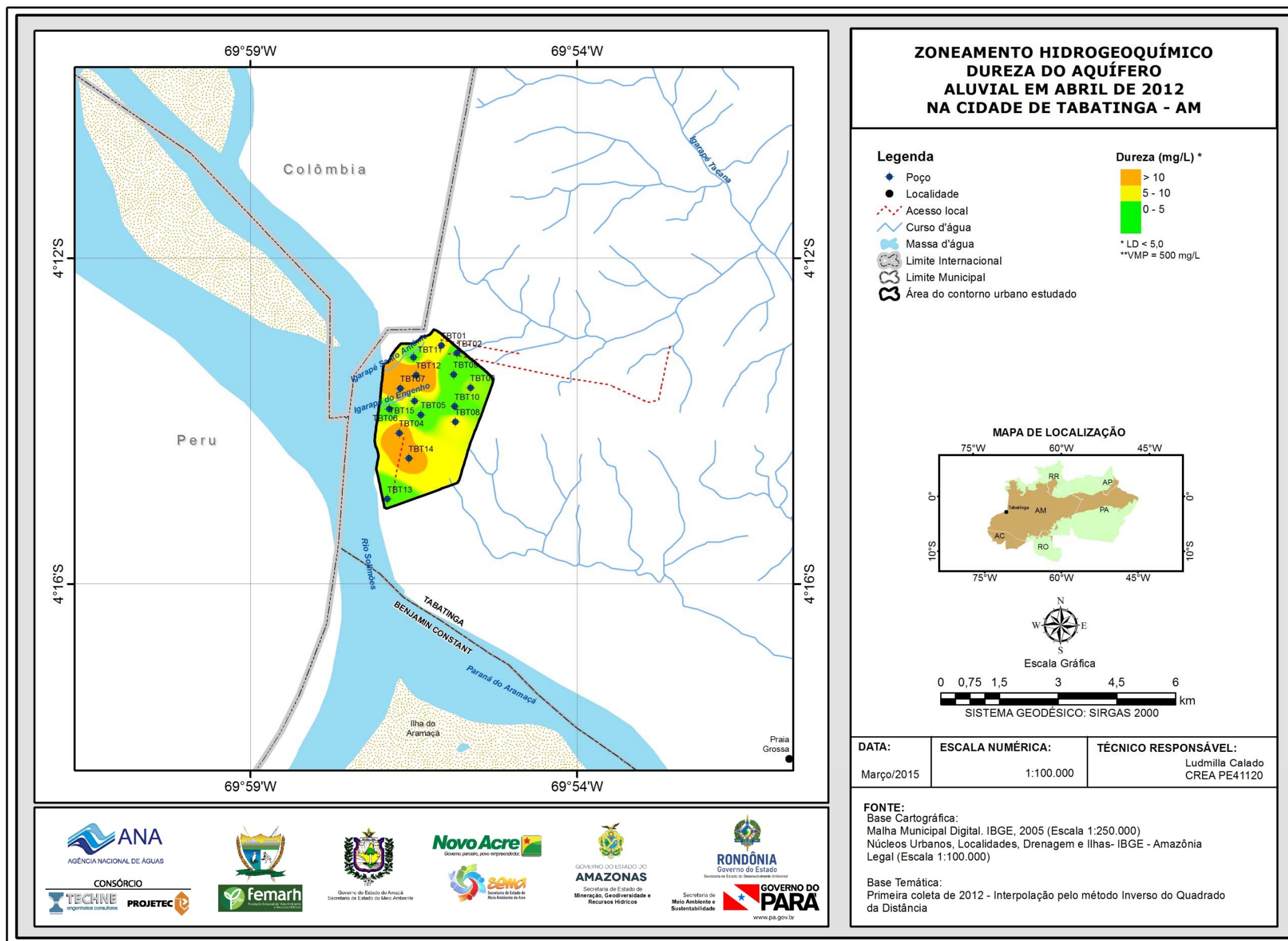


Figura 5.37a – Zoneamento de Dureza (mg/L em CaCO₃) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

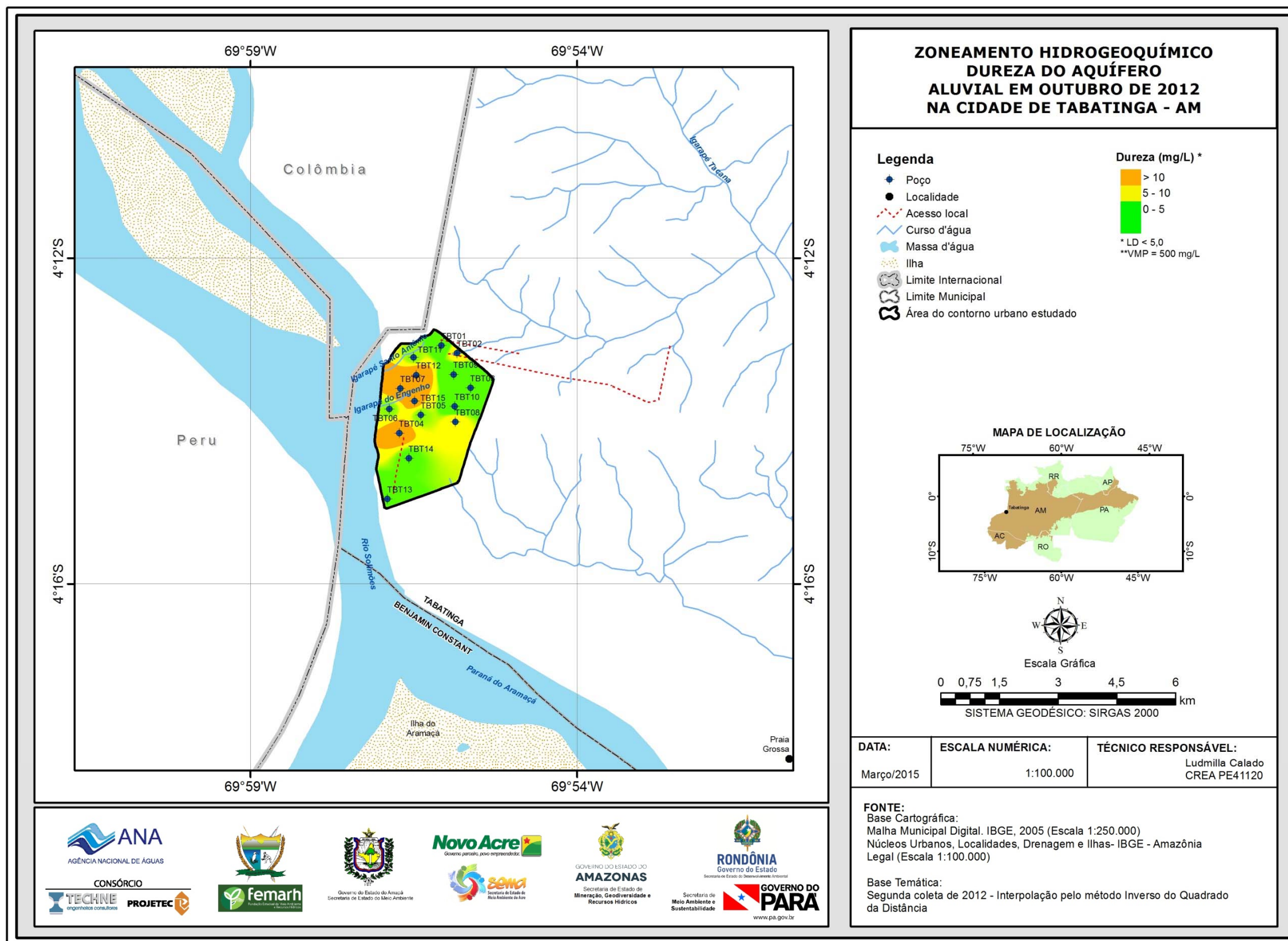


Figura 5.37b – Zoneamento de Dureza (mg/L em CaCO₃) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.11 – Compostos Nitrogenados

O nitrogênio é um componente importante no ciclo biogeoquímico, onde pode ser encontrado na matéria orgânica, como espécie dissolvida e gases. Os minerais contendo nitrogênio são, em geral, muito solúveis; por isso, são raros na natureza (Appelo & Postma, 1993).

O nitrogênio circula na atmosfera onde ocorrem reações redox catalisadas microbiologicamente; são as reações de oxidação do NH_4^+ para NO_2^- e para NO_3^- (nitrificação) e reações redox do NO_3^- para NO_2^- e para NH_4^+ (redução do nitrato e redução do nitrito), redução do NO_3^- para o $\text{N}_{2(g)}$ (denitrificação) e redução do $\text{N}_{2(g)}$ para NH_4^+ (fixação de nitrogênio).

Os esgotos sanitários constituem geralmente a principal fonte de nitrogênio nas águas naturais, lançando nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise da uréia na água (Metcalf & Eddy, 1991).

A quantidade de nitrogênio na água pode indicar poluição recente ou remota. O nitrogênio pode estar presente sob as suas diversas formas compostas: orgânica, amoniacal, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-); ele segue um ciclo desde o organismo vivo até à mineralização total, onde está presente sob a forma de nitrato.

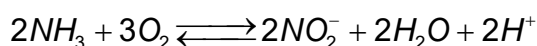
Assim, é possível avaliar o grau e a distância a uma fonte de poluição através das concentrações e das formas dos compostos nitrogenados presentes na água. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por descargas de esgotos próximos. Águas com concentrações de nitrato predominantes sobre nitrito e amônia indicam uma poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio.

Os nitratos são muito solúveis e por isso, dificilmente precipitam. Eles tendem a estabilidade em meios redutores, podendo passar a N_2 ou NH_4^+ e, excepcionalmente, a nitrito (NO_2^-). Esta redução é um fenômeno biológico produzido principalmente pelas bactérias Nitrossomas. A maioria dos compostos nitrogenados passa a NO_3^- em meio oxidante, enquanto o íon amônio (NH_4^+) pode transformar-se parcialmente em N_2 . O solo pode fixar nitrato (NO_3^-), em especial através da vegetação.

A nitrificação é um processo de oxidação biológica da amônia sob a forma do íon amônio (NH_4^+) para nitrato (Snoeyink & Jenkins, 1980).



Caso a amônia esteja sob a forma gasosa (NH_3) a nitrificação ou oxidação biológica a converterá em nitrito, através da reação:



As concentrações de nitrato nas águas naturais estão na faixa de 0,1 a 10 mg/L; porém, em águas muito poluídas, podem chegar a 200 mg/L; em alguns casos, em áreas influenciadas por aplicações excessivas de fertilizantes, as concentrações podem ser maiores que 600 mg/L.

Independente da sua origem, que também pode ser mineral, os nitratos em concentrações acima de 45 mg/L provocam em crianças a cianose ou methemoglobinemia, condições mórbidas associadas à descoloração da pele, em consequência de alterações no sangue.

Dessa forma, a Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites máximos de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde humana, como 1,5 mg/L para Amônia, 1 mg/L para Nitrito e 10 mg/L para Nitrato.

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 5.46**.

Tabela 5.46 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de nitrato e nitrito para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Dessedentação Animal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Irrigação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Recreação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Nitrato (expresso em N)	10.000	90.000	-	10.000
Nitrito (expresso em N)	1.000	10.000	1.000	1.000

Nitrogênio inorgânico pode existir no estado livre como gás, nitrito, nitrato e amônia. Com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos, o nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta terrestre. Nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores em geral abaixo de 5 mg/L e nitritos e amônia são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias. Elevado teor de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente.

No sistema digestivo o nitrato é transformado em nitrosaminas, que são substâncias carcinógenas. Crianças com menos de três meses de idade possuem, em seu aparelho digestivo, bactérias que reduzem o nitrato a nitrito. Este se liga muito fortemente a moléculas de hemoglobina, impedindo-as de transportarem oxigênio para as células do organismo. A deficiência em oxigênio leva a danos neurológicos permanentes, dificuldade de respiração (falta de ar) e em casos mais sérios à morte por asfixia. Aos seis meses de idade, a concentração de ácido hidrolórico aumenta no estômago, matando as bactérias redutoras de nitrato.

5.2.11.1 – Nitrato

A **tabela 5.47** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,19 a 6,66 mg/L, com média de 1,91 mg/L e mediana de 1,25 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 7,12 mg/L, com média de 2,08 mg/L e mediana de 1,28 mg/L.

Tabela 5.47 – Estatística descritiva do Nitrato do aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
N-1	15	1,91	0,8	3,03	1,25	0,19	6,66	2,015	0,52	1,813
N-2	15	2,08	0,96	3,21	1,28	0,09	7,12	2,03	0,525	1,2966

Em ambas as campanhas, 7% (1/15) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L. No período chuvoso, 7% (1/15) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 5.1.3**).

Nas duas coletas de amostragem, nenhum dos poços apresentou valores que ultrapassassem o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 e pela Resolução CONAMA 396/2008, sendo suas águas indicadas para todos os fins nela prescritos.

Os histogramas de frequência de nitrato (**figura 5.38**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal, que permitiu estimar, com risco calculado, valores de nitrato nas duas campanhas, conforme apresentado na **tabela 5.48**. Assim, é possível notar que os teores de nitrato no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista, que a razão obtida entre as duas campanhas é superior a 1 (um).

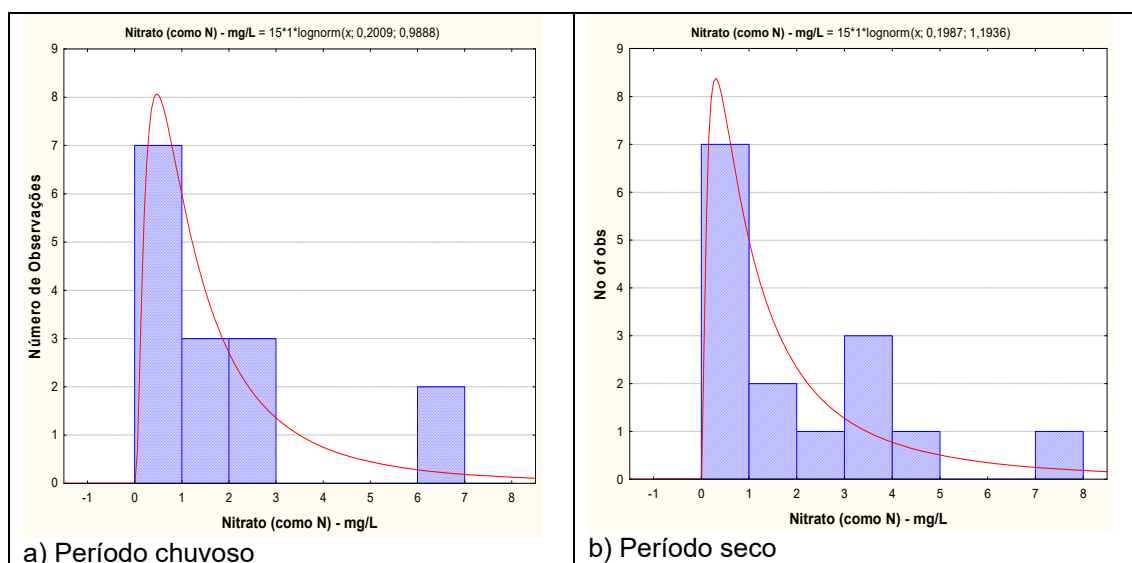


Figura 5.38 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande

mobilidade no solo alcançando o manancial subterrâneo. O nitrato, por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

Tabela 5.48 – Distribuição de probabilidade do Nitrato do aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	1,222503	0,531903	0,344281	0,240381	0,160438	0,122531
N-2	1,219816	0,446704	0,264223	0,171256	0,10512	0,075924
Razão	1,002	1,191	1,303	1,404	1,526	1,614

Diante disso, verifica-se que os valores de nitrato encontrados nas águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, se devem também a contaminação oriunda da ausência de saneamento básico, cuja propagação é mais fácil no período chuvoso devido à inundação e a proximidade das fossas junto aos poços mau protegidos.

Zoneamento do Nitrato

A distribuição espacial dos teores de nitrato nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), pode ser observada, respectivamente nas **figuras 5.39a e 5.39b**. Em ambas as campanhas, observa-se a existência de duas faixas dominantes, a de 0 a 1 mg/L e de 1 a 5 mg/L. Os valores acima de 5 mg/L se restringem ao longo da área de estudo a pontos isolados.

Nas duas campanhas de amostragem, nenhum dos poços ultrapassou o VMP da Portaria MS 2914/2011 e da Resolução CONAMA 396/2008.

5.2.11.2 – Nitrito

A **tabela 5.49** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, nas duas campanhas de amostragem realizadas. No período chuvoso (abril de 2012) e no período de estiagem (outubro de 2012), 100% (15/15) das amostras apresentaram teores de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L.

Todas as amostras analisadas nas duas coletas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, de modo que, poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 em relação a esse parâmetro.

Tabela 5.49 – Estatística descritiva do Nitrito do aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) - outubro de 2012.

Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
N-1	15	0,019	0,019-1,43E-9	0,019+1,43E-9	0,019	0,019	0,019	2,58E-9	6,6E-10	3,87
N-2	15	0,019	0,019-1,43E-9	0,019+1,43E-9	0,019	0,019	0,019	2,58E-9	6,6E-10	3,87

Em relação aos histogramas de frequência de nitrito (**figura 5.40**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, não houve a necessidade de modelagem desse parâmetro por uma função de distribuição de probabilidade, pois todos os valores são constantes (abaixo do limite de detecção). Desse modo, observa-se que não há influência da sazonalidade nos teores de nitrito, haja vista que a razão entre as duas coletas é igual a 1 (um) como apresenta a **tabela 5.50**.

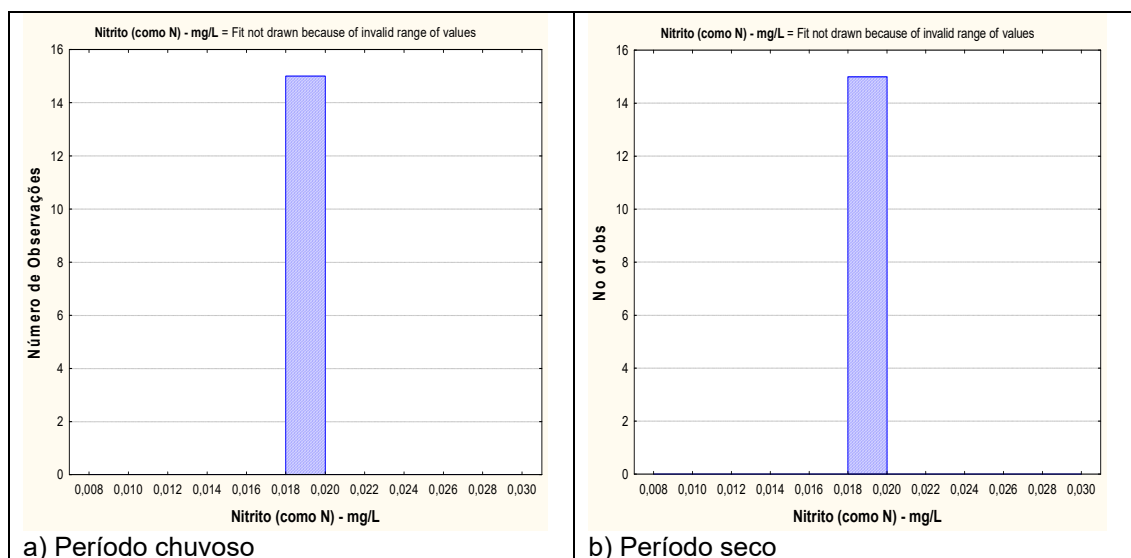


Figura 5.40 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do aquífero Aluvial são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlfs (2010), nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores, geralmente, abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

Tabela 5.50 – Distribuição de probabilidade do Nitrito do aquífero Aluvial no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
N-2	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Zoneamento do Nitrito

A distribuição espacial dos teores de nitrito nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, no período chuvoso (**figura 5.41a**) e no período seco (**figura 5.41b**), é caracterizada por 100% (15/15) de valores abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L.

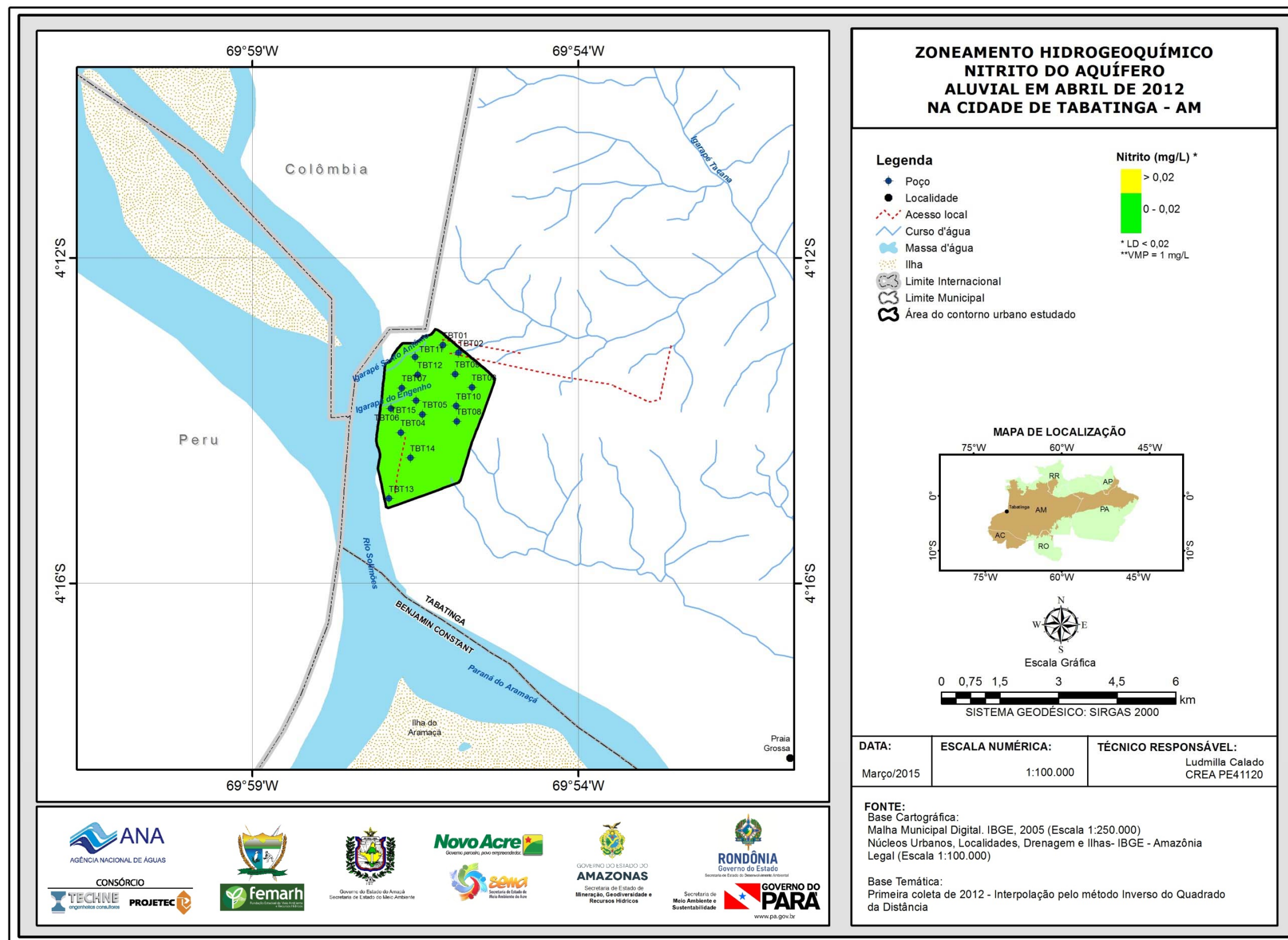


Figura 5.41a – Zoneamento de Nitrito (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

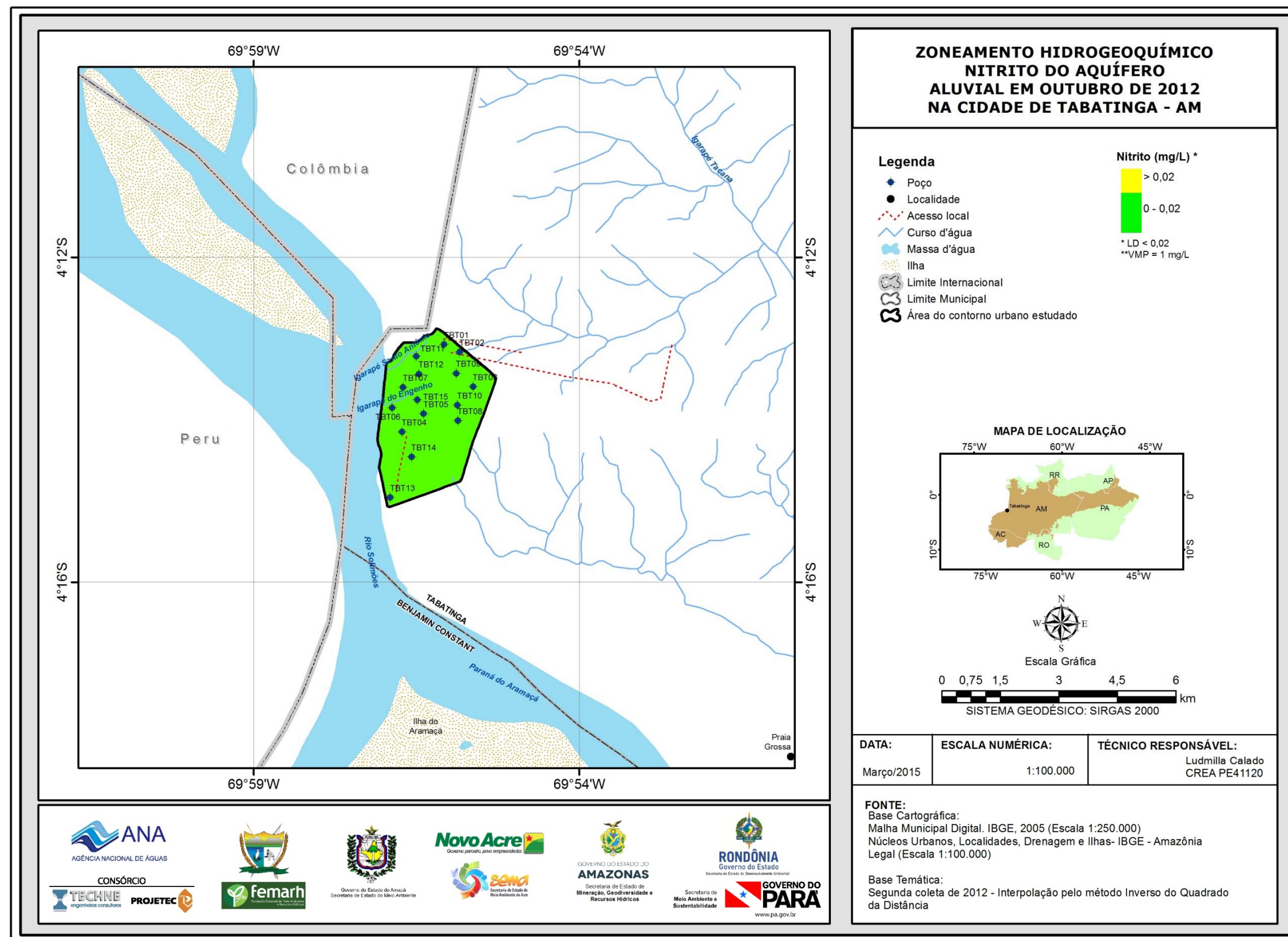


Figura 5.41b – Zoneamento de Nitrito (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.11.3 – Amônia

A **tabela 5.51** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de amônia variam de 0,09 a 0,45 mg/L, com média de 0,114 mg/L e mediana de 0,09 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 1,7 mg/L, com média de 0,2453 mg/L e mediana de 0,09 mg/L.

Tabela 5.51 – Estatística descritiva da Amônia do aquífero Aluvial no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
A-1	15	0,114	0,06	0,16	0,09	0,09	0,45	0,092	0,024	3,872983
A-2	15	0,2453	0,01	0,48	0,09	0,09	1,7	0,425	0,109	3,293581

Na coleta de abril de 2012, 93% (14/15) das amostras apresentaram valores de amônia inferiores ao limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na coleta de outubro de 2012, 80% (12/15) dos poços tiveram resultados de amônia abaixo do limite de detecção.

Apenas uma amostra (TBT12), no período de estiagem, apresentou teor de amônia que ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L.

Os histogramas de frequência dos teores de amônia ilustrados na **figura 5.42** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.

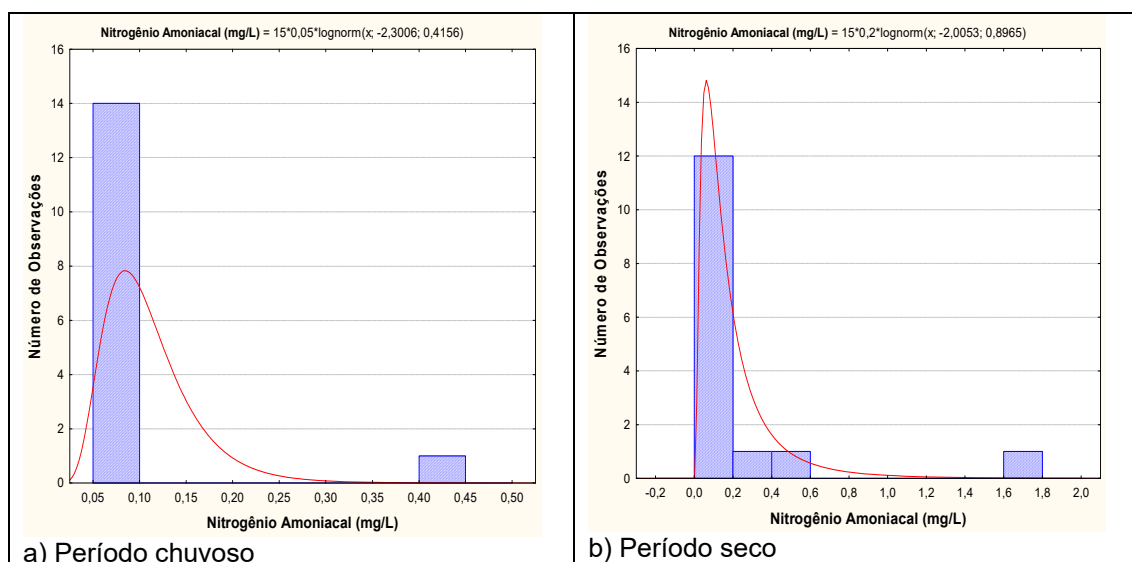


Figura 5.42 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para amônia com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.52**). Sendo assim, com base nos dados de média e valores máximos observa-se que os

valores de amônia no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Contudo, acredita-se que tais resultados não são coerentes, haja vista que 93% e 80% dos poços, respectivamente na primeira e segunda campanha de amostragem, obtiveram teores de amônia abaixo do limite de detecção. Dessa forma, fica evidente que não há influência de sazonalidade e que os poucos valores quantificáveis de amônia no aquífero Aluvial se devem exclusivamente a contaminações locais oriundas de atividades antrópicas, uma vez que a área de estudo é urbanizada e desprovida de sistema de esgotamento sanitário.

De acordo com Alaburda & Nishihara (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

Por esse motivo, os teores de amônia obtidos nas duas campanhas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga foram muito baixos, pois provavelmente a amônia existente proveniente dos dejetos das fossas sépticas está sendo convertida em nitrito e nitrato.

Tabela 5.52 – Distribuição de probabilidade da Amônia do aquífero Aluvial no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
A-1	0,100199	0,070625	0,058824	0,05058	0,042675	0,038104
A-2	0,13462	0,063304	0,042672	0,03081	0,021355	0,016725
Razão	0,744	1,116	1,379	1,642	1,998	2,278

Zoneamento da Amônia

A distribuição espacial dos teores de amônia nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, tanto no período chuvoso (**figura 5.43a**) quanto no período de estiagem (**figura 5.43b**), é caracterizada predominantemente pela faixa de valores abaixo do limite de detecção, ou seja, <0,1 mg/L.

Na segunda campanha de amostragem, a faixa de valores superior a 1,5 mg/L, ou seja, acima do VMP de potabilidade para consumo humano, pode ser observada de modo pontual no poço TBT12.

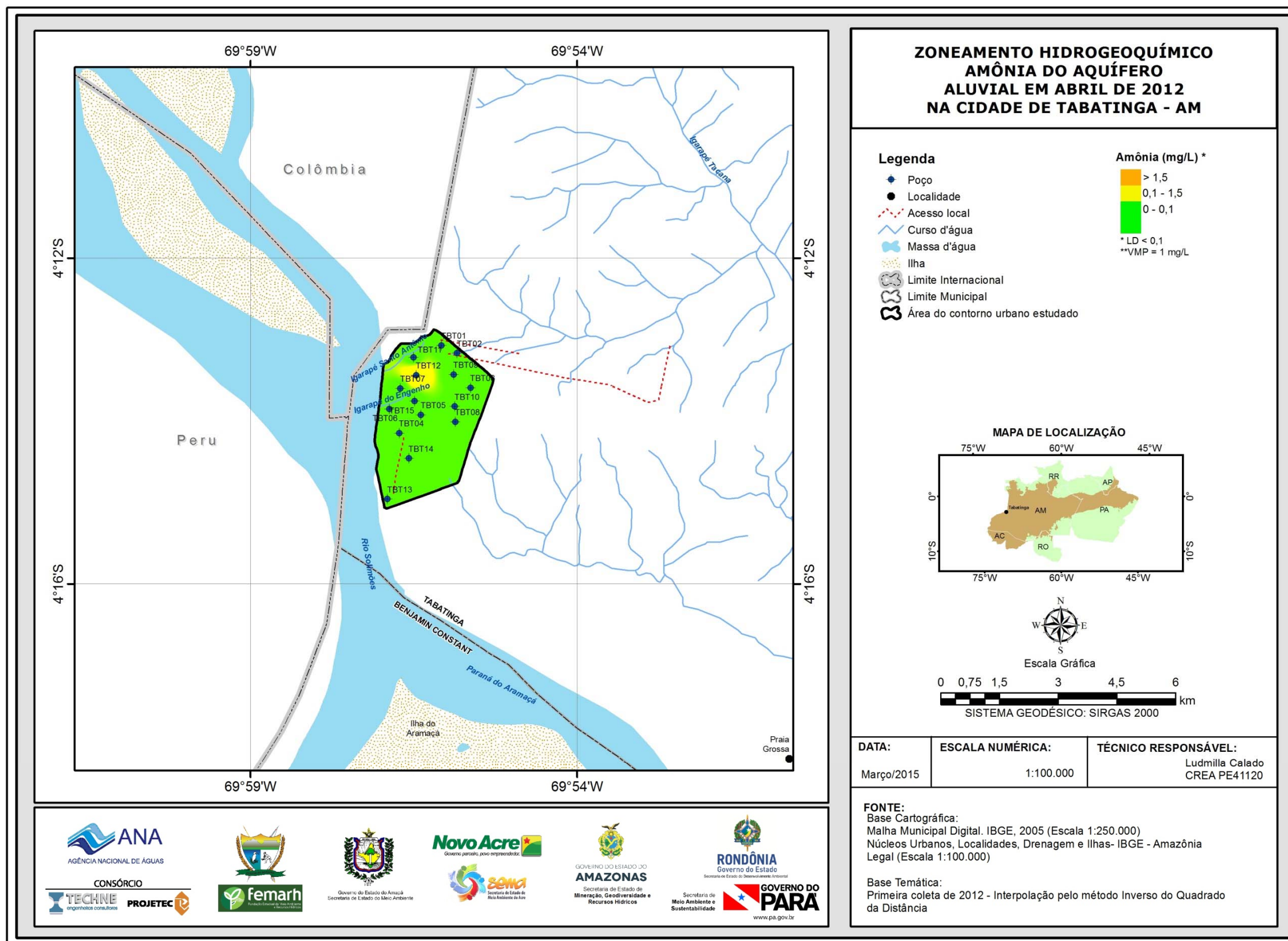


Figura 5.43a – Zoneamento da Amônia (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

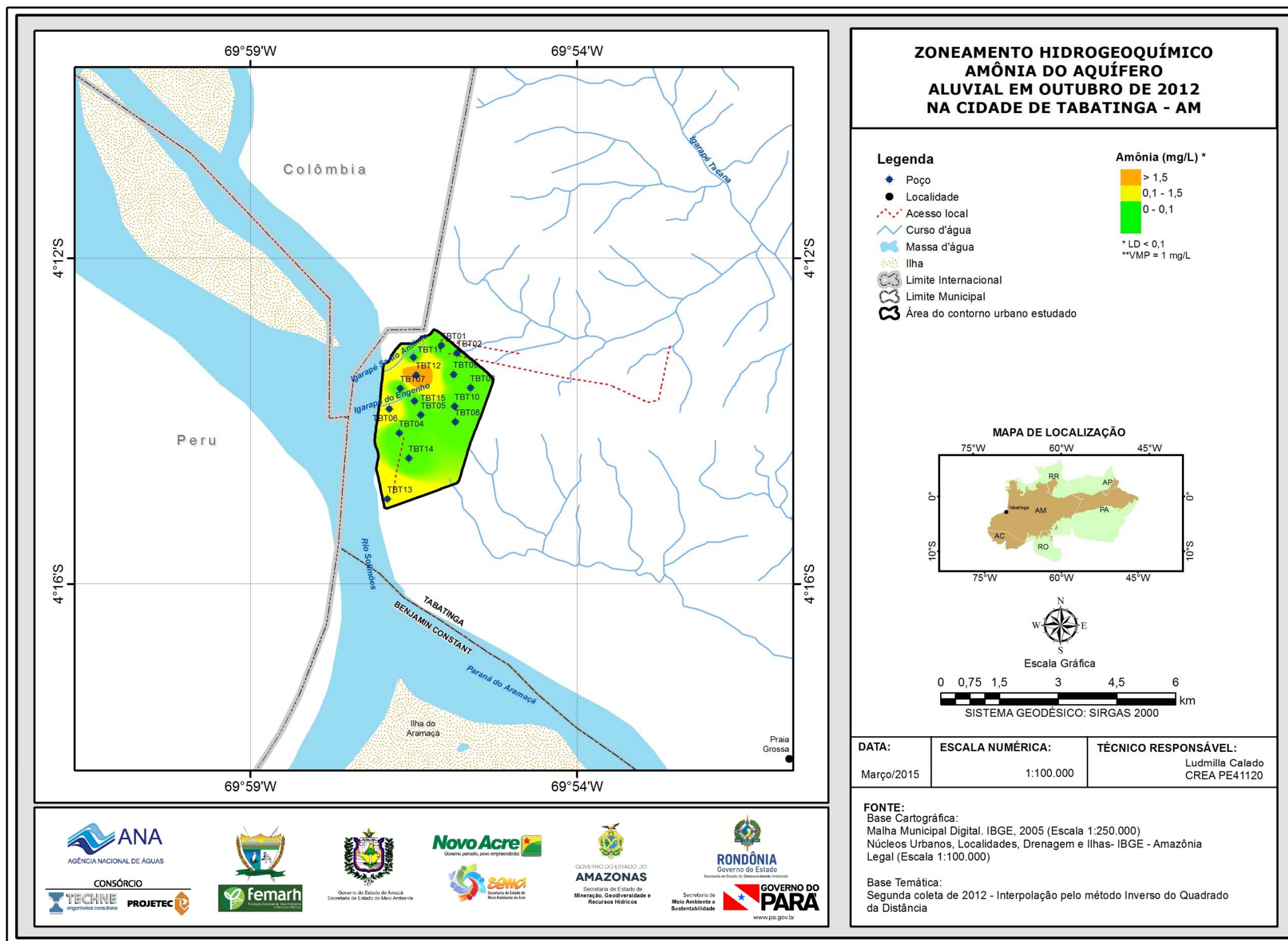


Figura 5.43b – Zoneamento da Amônia (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.12 – Ferro e Manganês

Ferro e manganês são elementos que apresentam comportamento químico muito parecido na natureza e, em virtude de afinidades geoquímicas, quase sempre ocorrem juntos.

As fontes de ferro são minerais escuros (máficos) portadores de Fe: magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. No estado ferroso (Fe^{2+}) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} , dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água. Não apresentam inconveniente à saúde nas concentrações normalmente encontradas, mas águas com altas concentrações desses metais lhe conferem coloração amarelada, acarretando sabor amargo e adstringente (Parron *et al.*, 2011).

A presença do manganês se deve a óxidos e hidróxidos, tais como hornblenda e biotita. Elemento principal da rodocrosita. É detectável em pequenas quantidades na água subterrânea, concentrações acima de 1 mg/L são raras, mas valores como 0,05 mg/L terão efeito adverso na potabilidade da água (Celligoi, 1999).

O ferro e o manganês estão presentes nas formas insolúveis numa grande quantidade de solos. Na ausência de oxigênio dissolvido como, por exemplo, água subterrânea ou fundo de lagos, eles se apresentam na forma solúvel. Caso a água contendo as formas reduzidas de ferro e manganês seja exposta ao ar atmosférico, o ferro e o manganês voltam a se oxidar às suas formas insolúveis (Schwarzbach & Morandi, 2000).

A Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites máximos de padrão organoléptico de potabilidade para ferro e manganês, como sendo o de 0,3 mg/L e 0,1 mg/L, respectivamente.

A Resolução CONAMA 396/2008, também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 5.53**.

Tabela 5.53 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de ferro e manganês segundo os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ($\mu g.L^{-1}$)	Dessedentação Animal ($\mu g.L^{-1}$)	Irrigação ($\mu g.L^{-1}$)	Recreação ($\mu g.L^{-1}$)
Ferro	300	-	5.000	300
Manganês	100	50	200	100

Nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, foram encontrados, nas duas campanhas de amostragem realizadas no ano de 2012 no Projeto PHA, teores muito elevados desses metais. A principal razão para as altas concentrações detectadas é o intemperismo químico regional resultante da alta pluviosidade, elevadas temperaturas e acidez das águas, que ao longo do tempo geológico causaram a decomposição das rochas com a remoção de muitos dos seus elementos químicos, como potássio, sódio, cálcio e outros, lixiviando os solos e deixando outros elementos como o ferro e o manganês, após dissolução inicial, presentes em forma solúvel ou consolidados como óxidos e hidróxidos em

um processo que chega a formar carapaças de laterita e de minério de manganês.

5.2.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial em Tabatinga (**tabela 5.54**) mostra, para o período chuvoso, valores compreendidos entre 0,002 e 1,38 mg/L, com média de 0,34 mg/L e mediana de 0,05 mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,0009 mg/L a 16,69 mg/L, com média de 1,35 mg/L e mediana de 0,02 mg/L.

Tabela 5.54 – Estatística descritiva do Ferro do aquífero Aluvial no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Fe-1	15	0,34	0,07	0,62	0,05	0,002	1,38	0,499	0,129	1,445
Fe-2	15	1,35	-1,02	3,72	0,02	0,0009	16,69	4,28	1,105	3,7673

Na segunda campanha, 13% (2/15) das amostras apresentaram teores de ferro abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 40% (6/15) dos poços no período chuvoso e 20% (3/15) no período de estiagem apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008.

Além disso, 7% (1/15) dos poços amostrados na segunda coleta apresentaram teores de ferro que ultrapassaram os limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

De acordo com Azevedo (2006), a presença de ferro é comum nas águas subterrâneas da região de Tabatinga e em algumas amostras examinadas foram detectados valores acima desses limites, o que pode indicar pouco funcionamento do poço ou a sua deficiência construtiva.

Os histogramas de frequência de ferro (**figura 5.44**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal.

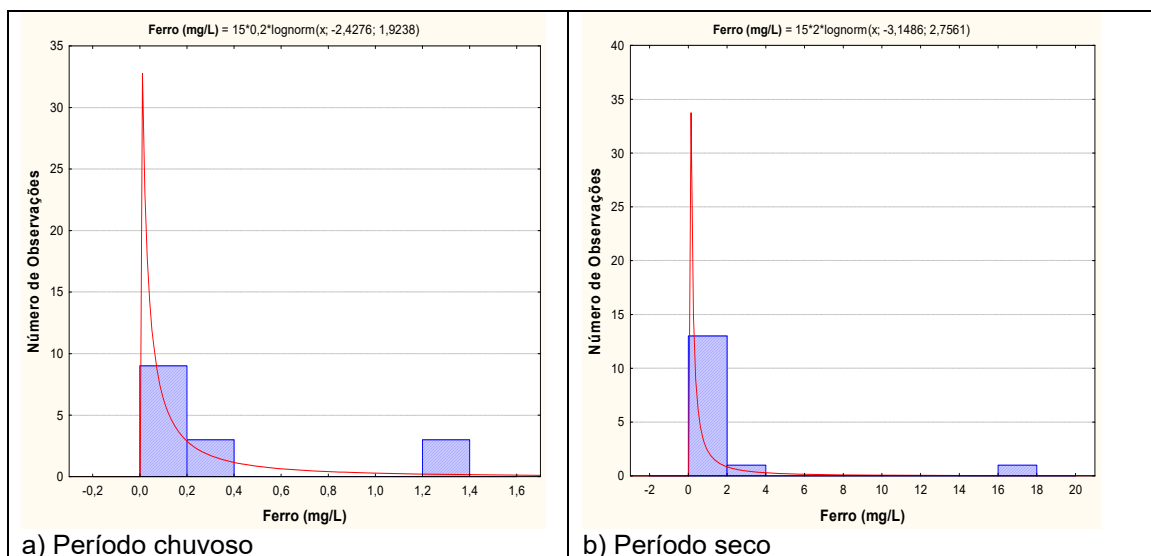


Figura 5.44 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de ferro no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga (**tabela 5.55**), onde se verificou que os valores do período chuvoso são maiores do que os do período seco, o que reflete alguma influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é superior a 1 (um). Isto provavelmente ocorre, pois no período chuvoso, as águas do aquífero Aluvial são mais ácidas, o que favorece a oxidação do ferro, e consequentemente a elevação de seus teores.

Tabela 5.55 – Distribuição de probabilidade do Ferro do aquífero Aluvial no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

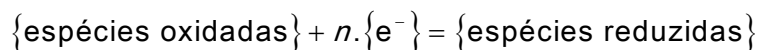
$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Fe-1	0,088248	0,01748	0,007499	0,003728	0,001697	0,001005
Fe-2	0,042912	0,004219	0,001255	0,000461	0,000149	7,05E-05
Razão	2,056	4,143	5,975	8,087	11,389	14,255

Aliado a isso, de modo geral, os aquíferos da PHA apresentam altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea, os quais resultam principalmente das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas, conforme descrito a seguir:

Os altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea em Tabatinga

Em primeiro lugar convém fazer uma distinção entre os “processos de intemperismo” das rochas na região amazônica, que ocorrem desde, pelo menos, do Neomioceno até o presente, e respondem pela formação de depósitos de concentração residual (por exemplo, laterita, bauxita), e o “processo redox”, graças ao qual o alumínio e o ferro residuais do intemperismo (insolúveis em água) podem ser transportados em solução. Ou seja, os altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea não resultam diretamente do processo de intemperismo químico das rochas, mas das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas.

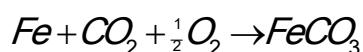
Segundo Merkel & Friedrich (2008) as equações de oxi-redução ou redox desempenham um papel importante em todas as interações presentes em sistemas aquosos. Uma reação redox é considerada como uma transferência de elétrons e obedece à seguinte reação geral:



n = número de elétrons (e^{-}).

Na Amazônia as águas superficiais são ácidas e constituem um dos principais agentes do intemperismo químico. A acidez dessas águas pode resultar da oxidação de sulfetos (pirita), gerando H_2SO_4 (ácido sulfúrico); da dissolução do dióxido de carbono da atmosfera, formando H_2CO_3 (ácido carbônico) diluído; da presença de ácidos húmicos gerados por processos biológicos de degradação da matéria orgânica nos solos.

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério (resíduo do intemperismo das rochas) pelo gás carbônico da água, conforme a equação:



O carbonato ferroso é solúvel e frequentemente encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração (CETESB, 2009).

Portanto, a explicação para os elevados teores de ferro dissolvido nas águas subterrâneas em Tabatinga é que eles resultam de reações de oxi-redução, como fica demonstrado pela modelagem do equilíbrio do ferro nas águas subterrâneas (Snoeyink & Jenkins, 1980), através de um diagrama pH-Eh incluindo a interação de espécies do ferro com sulfeto e bicarbonato. Esse diagrama também é chamado de diagrama de estabilidade ou diagrama de espécies predominantes para cada sistema redox.

A solubilidade do ferro em relação a pH e Eh a 25°C e 1 atm é ilustrada no diagrama da **figura 5.45**, segundo Hem (1960). A figura foi desenhada para uma concentração molar especificada de carbono inorgânico total ($C_{T,CO_3} = 10^{-3} M$) e um teor de enxofre inorgânico total ($C_{T,S} = 10^{-4} M$). Notar que a região do hidróxido ferroso ($Fe(OH)_2$) foi reduzida de tamanho pelas espécies FeS_2 (dissulfeto de ferro) e $FeCO_3$ (carbonato ferroso). Outra feição desse particular diagrama é a apresentação de diversos limites entre fases sólidas e em solução, cada uma representando uma concentração diferente de ferro permissível. Esses limites variam de 10 M (570 g de Fe/litro) a $10^{-5} M$ (0,57 mg de Fe/litro).

Para um dado pH constante, o diagrama revela uma região superior de $Fe(OH)_3$ (hidróxido férrico), uma região intermediária de $FeCO_3$ (carbonato ferroso) e uma região inferior de FeS_2 (dissulfeto de ferro).

Esse diagrama e suas regiões pode ser visualizado, ao longo da vertical, como um “poço virtual” tendo 3 (três) entradas de água, indicadas como 1, 2 e 3 (figura 5.45).

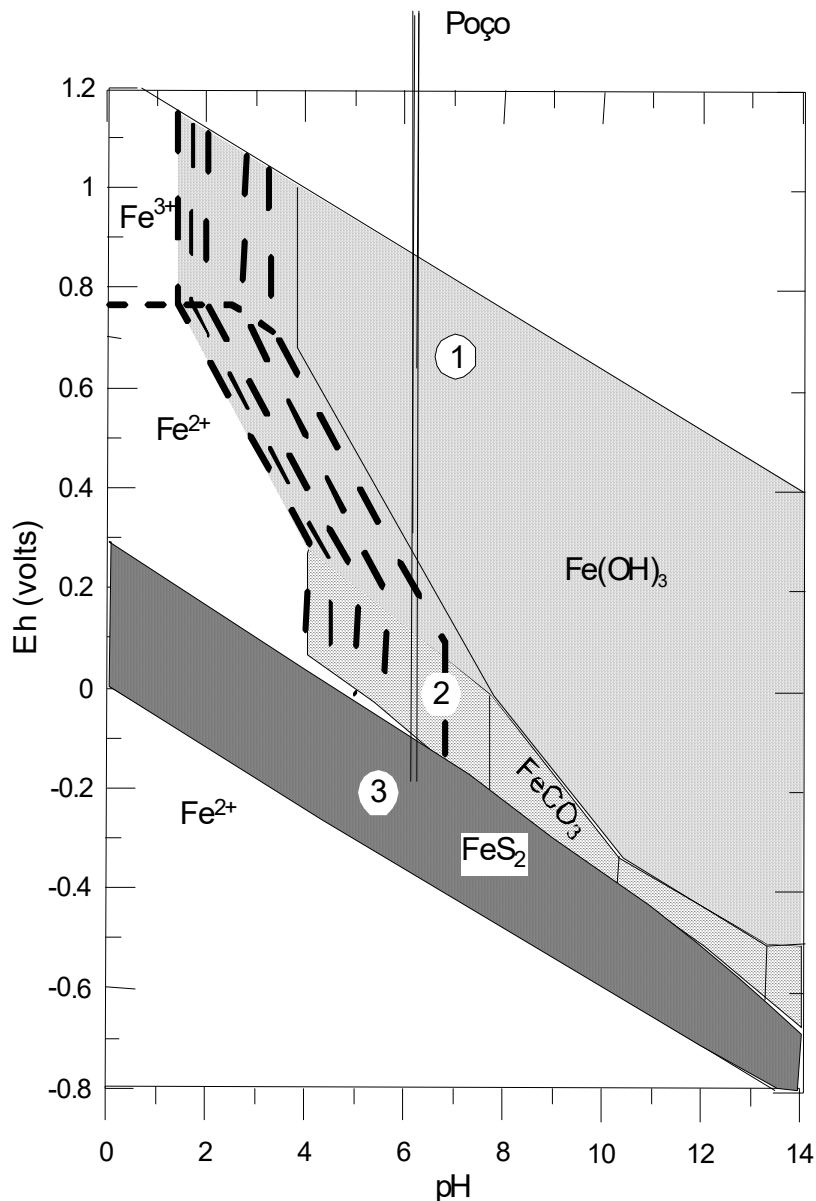
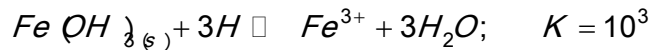


Figura 5.45 – Diagrama pH-Eh ilustrando a solubilidade do ferro em relação a pH, em 3 (três) zonas, para $C_{T,S} = 10^{-4} M$; $C_{T,CO_3} = 10^{-3} M$, segundo Hem (1960). Adaptado de Snoeyink & Jenkins (1980).

Região Superior

A primeira entrada seria equivalente à de um poço raso que tivesse a sua fonte de água na zona de aeração ou insaturada. Nessa zona, o ferro está quase em equilíbrio com o oxigênio da atmosfera e o seu teor na água é governado pela reação da mesma com o óxido de ferro sólido, $Fe(OH)_{3(s)}$. O teor de ferro na água é, portanto, governado pelo equilíbrio:



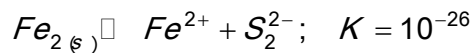
A equação para o teor de ferro (mol/L) em função do pH é dada por:

$$\log[Fe^{3+}] = 4 - 3pH$$

Logo, nessa região, para um pH de 5, a concentração de ferro em equilíbrio na solução será de apenas $10^{-11} M$ (0,0057 μg de Fe^{3+}/L). Aí as águas têm baixo pH porque elas se encontram na zona biologicamente ativa do solo, onde existe uma considerável produção de CO_2 .

Região Inferior

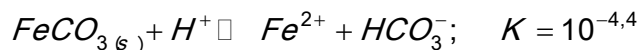
A terceira entrada seria para um poço profundo que capta água que está em equilíbrio com o mineral pirita $FeS_2(s)$. Nessa zona aquífera o ferro se encontra na forma de ferroso e o enxofre na forma de sulfeto, precipitando dissulfeto de ferro. O teor de ferro da água do poço seria controlado pela reação:



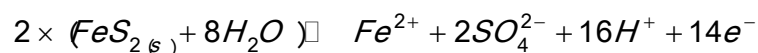
Essa reação, caso o S_2^{2-} seja a única espécie, produzirá um teor de ferro em solução inferior a 1 μg de Fe^{2+}/L . Ou seja, águas desse tipo apresentam baixo teor de ferro e de sulfato.

Região Intermediária

A segunda entrada de água do poço se encontra numa zona intermediária entre as regiões do óxido de ferro III e do dissulfeto de ferro. Essa zona é a do carbonato ferroso ($FeCO_3(s)$) e o mineral que controla a concentração de ferro dissolvido é geralmente o mineral siderita.



As águas nessa região apresentam altos teores de ferro dissolvido em comparação com as duas outras zonas para um dado pH. Além disso, nessa zona ocorre um aumento na concentração de sulfato na água do poço porque a formação dessa região pode ser tratada como uma oxidação do sulfeto de ferro ($FeS_2(s)$) para sulfato ferroso.



No que concerne à qualidade da água, essa modelagem traz importante contribuição para o projeto e construção de poços. Por exemplo, a água de poços na zona de $Fe(OH)_3(s)$ apresenta altos teores de CO_2 e baixos valores de pH, sendo potencialmente corrosiva. Em poços perfurados que penetram na zona de $FeS_2(s)$, o revestimento deve se estender até abaixo da mesma, para evitar o contato com o oxigênio. Além disso, o próprio revestimento nessa zona deve ser cimentado para evitar a corrosão.

Zoneamento de Ferro

O teor de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, no período chuvoso (abril de 2012) e no período de estiagem (outubro de 2012), pode ser observado respectivamente nas **figuras 5.46a** e **5.46b**. Em ambas as coletas verifica-se o domínio de duas faixas de valores: 0 a 0,1 mg/L; e > 0,3 mg/L, ou seja, teores acima do padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano da Portaria MS 2914/2011 e da Resolução CONAMA 396/2008.

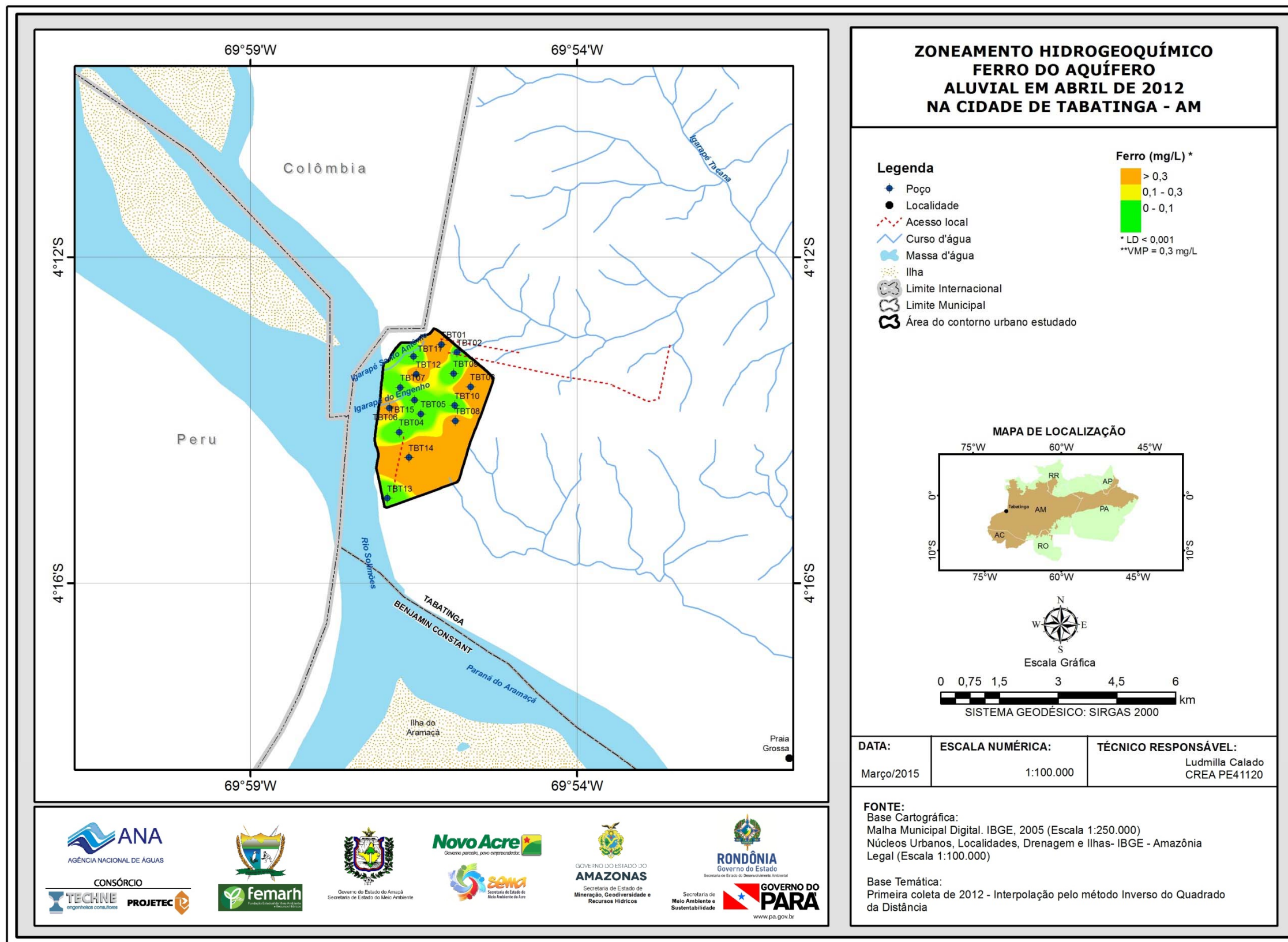


Figura 5.46a – Zoneamento de Ferro (mg/L) nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012), na cidade de Tabatinga – AM.

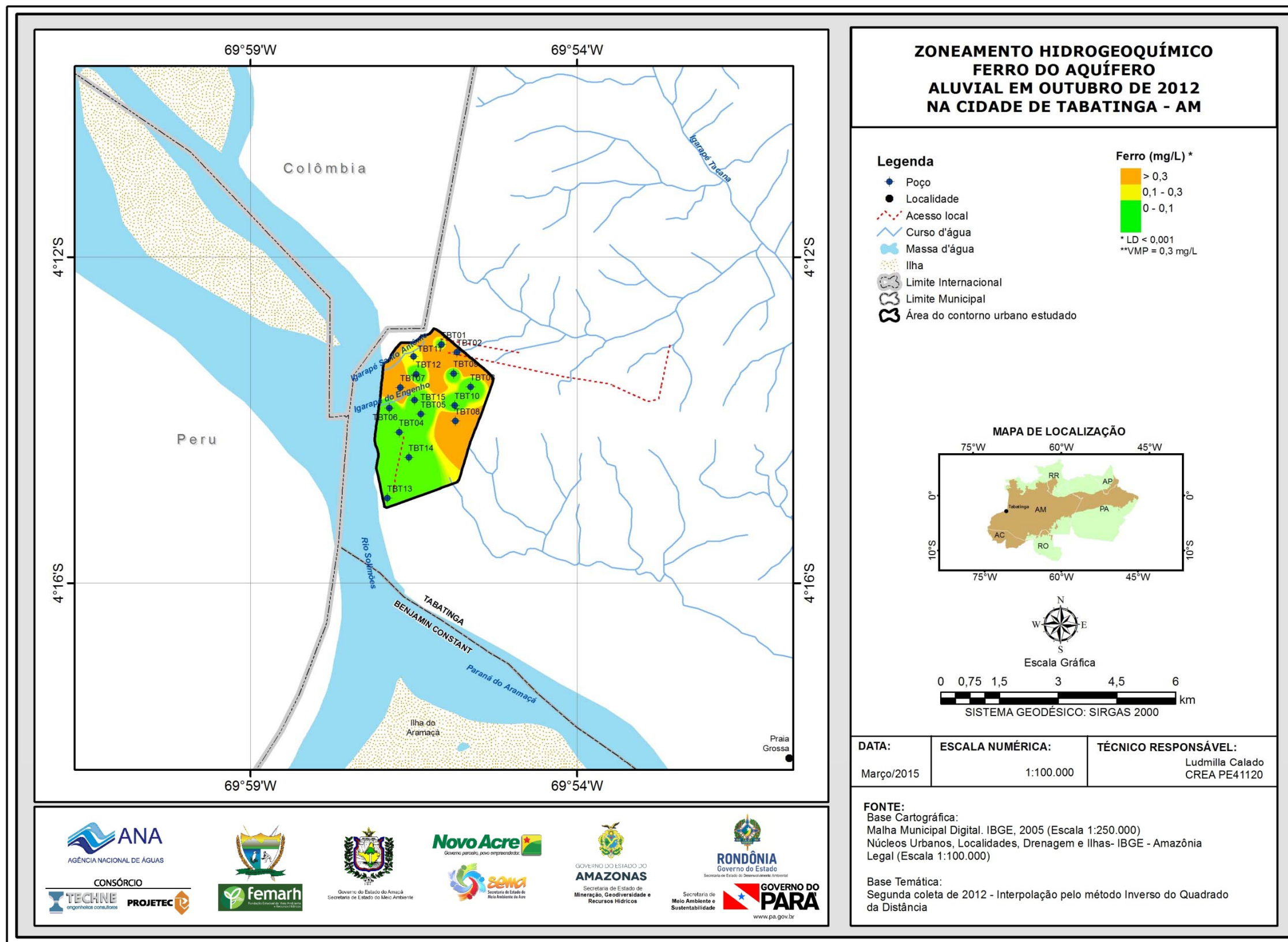


Figura 5.46b – Zoneamento de Ferro (mg/L) nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial no período de estiagem (outubro de 2012), na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga (**tabela 5.56**), revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,0059 a 0,378 mg/L, com média de 0,07 mg/L e mediana de 0,04 mg/L. No período seco, o valor mínimo de 0,0075 mg/L e o máximo de 0,64 mg/L, sendo a média igual a 0,08 mg/L e a mediana de 0,035 mg/L.

Tabela 5.56 – Estatística descritiva do Manganês do aquífero Aluvial no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro padrão	Assimetria
Mn-1	15	0,07	0,01955	0,124	0,04	0,0059	0,378	0,091	0,024	3,056
Mn-2	15	0,08	0,0089	0,17	0,035	0,0075	0,64	0,16	0,041	3,6875

Na primeira e segunda campanha, respectivamente observou-se a ocorrência de 13% (2/15) e 7% (1/15) de valores acima do VMP de 0,1 mg/L estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, bem como, a não indicação dessas águas para consumo humano e para recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008.

Além disso, nas duas campanhas, 33% (5/15) dos poços amostrados apresentaram teores de manganês que ultrapassaram os limites recomendados para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Com relação ao uso das águas do aquífero Aluvial para irrigação, verificou-se que o poço TBT12, ou seja, 7% (1/15) das amostras nas duas coletas de amostragem ultrapassaram os limites de 0,2 mg/L definidos na resolução CONAMA 396/2008.

Os histogramas de frequência de manganês (**figura 5.47**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de manganês no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga (**tabela 5.57**), onde se verificou que os valores do período chuvoso são maiores do que os do período seco, o que reflete alguma influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é superior a 1 (um).

Isso se deve provavelmente ao fato de que no período chuvoso, as águas superficiais inundam a região de Tabatinga, carregadas de sedimentos, o que favorece o transporte do manganês solúvel em água, que após exposição ao ar formam o precipitado MnO₂. Tal assertiva é coerente com os resultados de manganês na área de estudo, onde o potencial redox sugere que as águas do aquífero Aluvial se encontram em condições oxidantes, o que propicia a precipitação do manganês, e conseqüentemente a elevação de seus teores.

Vale ressaltar também que no período chuvoso, as águas do aquífero Aluvial são mais ácidas, o que favorece a oxidação do manganês e conseqüentemente a elevação de seus teores.

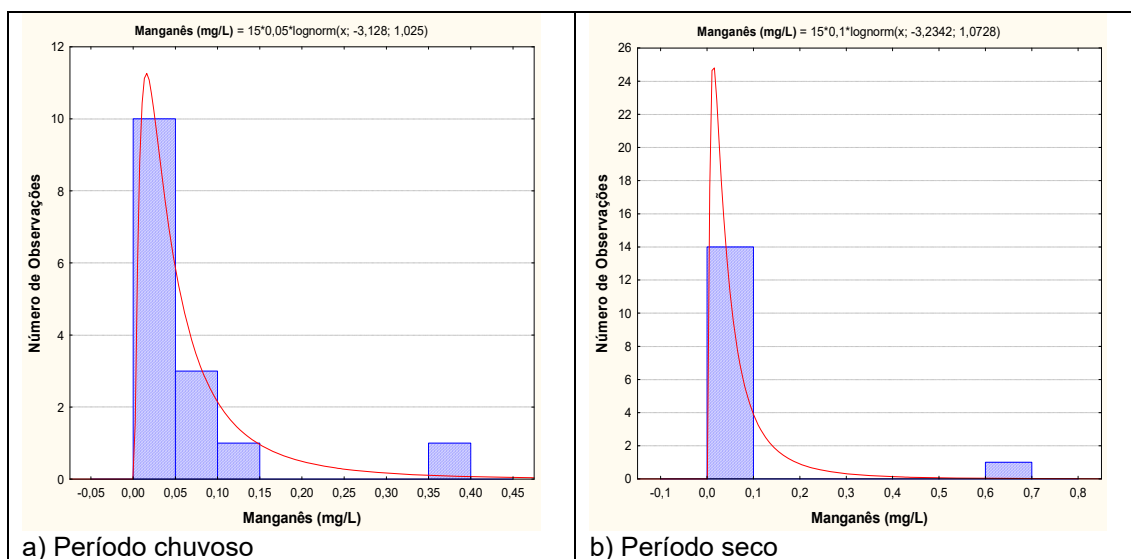


Figura 5.47 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do aquífero Aluvial, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com CETESB (2012), o manganês ocorre na água nas formas dissolvida e suspensa, que variam conforme pH e potencial redox. A água subterrânea anaeróbica frequentemente contém níveis elevados de manganês dissolvido. Em rios, o Mn^{2+} é transportado adsorvido a partículas suspensas dos sedimentos.

Tabela 5.57 – Distribuição de probabilidade do Manganês do aquífero Aluvial no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mn-1	0,043805	0,018487	0,011777	0,008116	0,005337	0,004036
Mn-2	0,039392	0,015969	0,009961	0,006746	0,004351	0,003247
Razão	1,112	1,158	1,182	1,203	1,227	1,243

Zoneamento do Manganês

A distribuição espacial do teor de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, tanto no período chuvoso (abril de 2012) quanto no período seco (outubro de 2012), apresentada respectivamente na **figura 5.48a** e **figura 5.48b**, revela a existência de duas faixas predominantes: até 0,05 mg/L e de 0,05 a 0,01 mg/L. A última faixa de valores, ou seja, > 0,1 mg/L representa os poços cujos teores de manganês estão acima do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011.

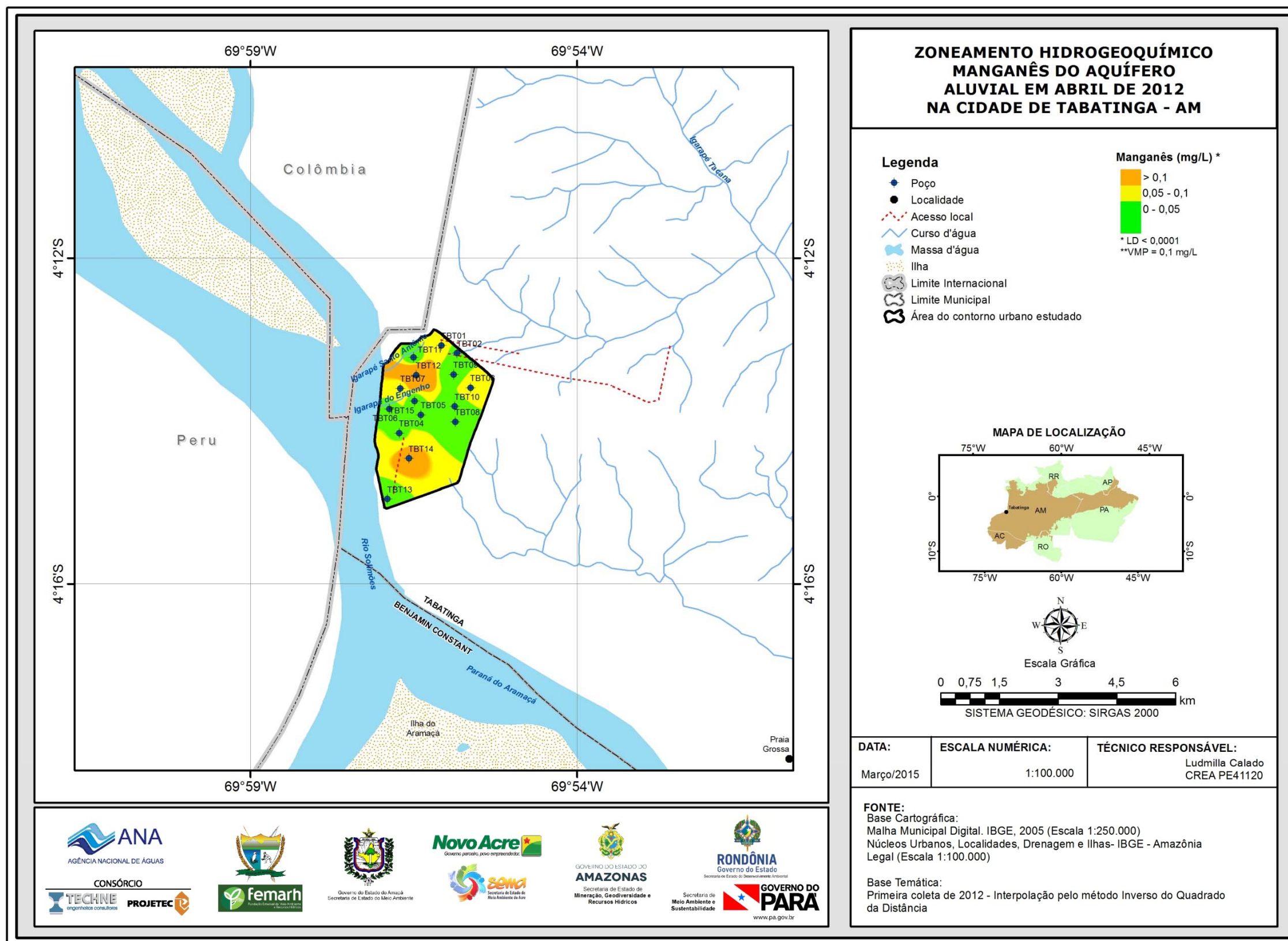


Figura 5.48a – Zoneamento de Manganês (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em abril de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

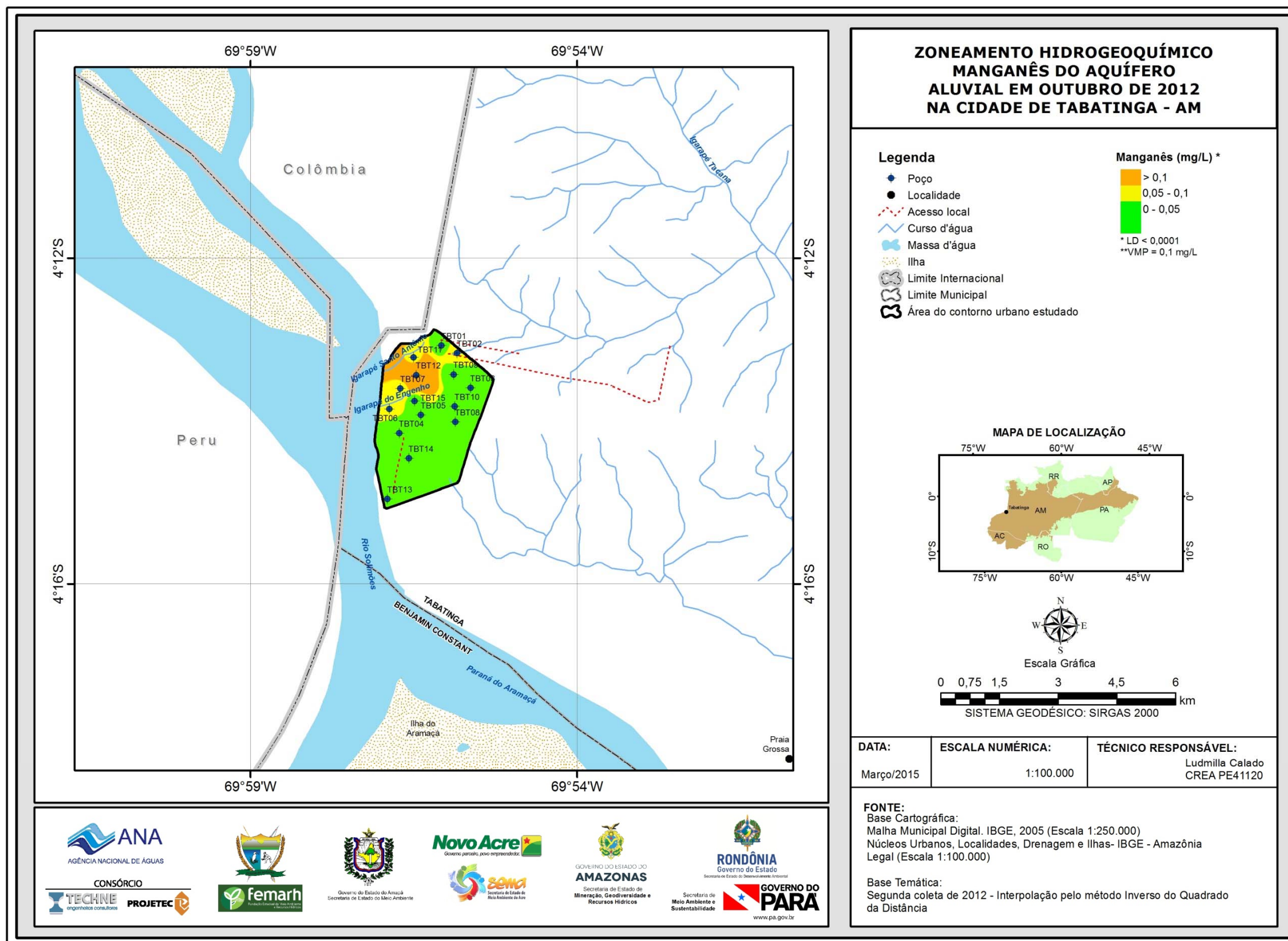


Figura 5.48b – Zoneamento de Manganês (mg/L) das águas subterrâneas do aquífero Aluvial em outubro de 2012, na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.13 – Metais Pesados

Os resultados analíticos de metais pesados das amostras de água do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, coletadas durante a segunda campanha de amostragem realizada em outubro de 2012, podem ser observados no **anexo 7.3.3**. Os metais pesados analisados foram: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco. Como esses parâmetros apresentam risco à saúde humana, a Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites máximos de padrão de potabilidade (**tabela 5.58**).

Tabela 5.58 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco, segundo a Portaria MS 2914/2011.

Parâmetro	VMP (mg/L)
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cobre	2,0
Cromo	0,05
Mercúrio	0,001
Níquel	0,07
Zinco	5,0

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 5.59**.

Tabela 5.59 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Dessedentação Animal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Irrigação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Recreação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Arsênio	10	200	-	50
Bário	700	-	-	1000
Cádmio	5	50	10	5
Chumbo	10	100	5000	50
Cobre	2000	500	200	1000
Cromo	50	1000	100	50
Mercúrio	1	10	2	1
Níquel	20	1000	200	100
Zinco	5000	24000	2000	5000

Arsênio

Está presente na matéria orgânica, em quase todos os sulfetos metálicos e também ainda dissolvido nas águas naturais. Ocorre na natureza em quantidades reduzidas, aproximadamente 0,00005%. As fontes naturais de arsênio são principalmente as jazidas de metais, onde o elemento se encontra na forma de arsenita (AsO_4^{-3}). Nas águas subterrâneas, as concentrações de arsênio são comumente abaixo de 0,1 mg/L, porém em águas de poços

petrolíferos e em águas minerais ocorrem concentrações de até 4 mg/L. O arsênio é muito perigoso à saúde pública, basta uma pequena ingestão de 100 mg para envenenar seriamente o organismo humano. Por ser carcinógeno o seu limite de aceitação é de 0,01 mg/L (Feitosa *et al.*, 2008).

Todos os 05 (cinco) poços amostrados no aquífero Aluvial, na segunda campanha realizada em outubro de 2012, apresentaram valores de arsênio abaixo do limite de detecção, ou seja, resultados <0,001 mg/L.

Bário

O bário metálico é um elemento químico tóxico que pode ser encontrado no mineral barita e todos os seus compostos que são solúveis em água são venenosos. A barita é muito usada em fluidos para a perfuração de poços de petróleo.

Nas 05 (cinco) análises de amostras de água do aquífero Aluvial, em Tabatinga, foi detectada a presença de bário, onde os teores variaram de 0,04 a 0,23 mg/L. Neste sentido, os teores encontrados estão abaixo do limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, não oferecendo riscos para a saúde humana. Além disso, todas as análises indicam que as águas do aquífero Aluvial podem ser utilizadas para o consumo humano e a recreação, segundo padrões da resolução CONAMA 396/2008.

Cádmio

Metal relativamente raro na natureza, encontrado principalmente nos minerais de zinco, tais como blenda, calamina, smithsonita e hidrozincita, em porcentagens que variam de 0,1 a 0,3%. Nas águas subterrâneas exibe teores inferiores a 20 mg/L. É muito tóxico para a saúde do homem, tendo ação cumulativa sobre o organismo humano. Seu excesso pode provocar hipertensão arterial, anemia, retardamento de crescimento e morte (Feitosa *et al.*, 2008).

No período de estiagem (outubro de 2012), as 05 (cinco) análises realizadas no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, apresentaram teores de cádmio abaixo dos limites de detecção de 0,001 mg/L.

Chumbo

Metal encontrado em pequenas quantidades na natureza, sendo a sua principal fonte o mineral galena (sulfeto de chumbo). A maioria do chumbo que ingressa diariamente no organismo humano tem origem em alimentos, sujeiras e poeira contendo o metal. As águas subterrâneas tem quantidades médias em torno de 20 mg/L. Altos teores de chumbo podem provocar intoxicação, podendo ocasionar até danos cerebrais ou levar a morte em casos extremos (Feitosa *et al.*, 2008).

Todas as 05 (cinco) amostras analisadas na segunda campanha apresentaram teores de chumbo inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L.

Cobre

Os principais minerais de cobre são calcopirita (CuFeS_2), calcosita (Cu_2S), covelita (CuS), malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) e azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$). O cobre tem baixa solubilidade e elevada persistência na água. Ocorre nas águas subterrâneas com teores inferiores a 1 mg/L, contudo em águas que percolam jazidas de cobre ocorrem em maiores concentrações. Quase todo o cobre ingerido pelo homem é eliminado, no entanto, altas concentrações podem provocar hemocromatose (Feitosa *et al.*, 2008).

As análises de metais pesados realizadas nas águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, indicaram que 60% (3/5) das amostras apresentaram teores de cobre abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L, enquanto que os 40% (2/5) restantes obtiveram resultados de cobre que variaram de 0,0017 a 0,0082 mg/L. Os teores encontrados estão abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, assim como dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

Cromo

Metal relativamente raro na crosta terrestre, aproximadamente 0,03%. Não é encontrado no estado livre, ocorrendo geralmente associado ao ferro e ao chumbo. Entre os minerais de cromo destacam-se a cromita (FeOCr_2O_3) e a crocoíta (PbCrO_4). Entre os vários estados de oxidação, o Cr^{3+} e o Cr^{6+} são estáveis em água. O cromo é relativamente bem distribuído, mas com baixa solubilidade. Os níveis em água são geralmente baixos, inferiores a 1 mg/L. Entretanto, existem exemplos de contaminação de água por cromatos e dicromatos, superiores a 25 mg/L (Celligoi, 1999; Feitosa *et al.*, 2008).

Na segunda campanha, realizada em outubro de 2012, as 05 (cinco) amostras analisadas apresentaram teores de cromo abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Mercúrio

Único metal líquido, volátil em pequena intensidade, seus vapores são extremamente tóxicos, podendo causar cansaço, dificuldade de concentração e perda de memória. O mais importante composto de mercúrio é o sulfeto mercúrico (HgS). Os estados de oxidação que o mercúrio pode assumir são Hg^{+1} e Hg^{+2} . Apesar da toxicidade dos sais de mercúrio, o cloreto mercurioso (Hg_2Cl_2), conhecido como calomelano, encontra aplicação na medicina como estimulante de órgãos de secreção (Feitosa *et al.*, 2008).

Todas as 05 (cinco) amostras analisadas na segunda campanha do aquífero Aluvial apresentaram teores de mercúrio abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L.

Níquel

O níquel é um metal prateado, razoavelmente duro, dúctil e maleável. Apresenta um fraco brilho amarelado devido, em parte, à existência de uma camada protetora de óxido. Forma compostos inorgânicos solúveis, como os hidróxidos, sulfatos, cloretos e nitratos, e insolúveis, como os óxidos e sulfetos. Também pode formar carbonila de níquel, um composto orgânico volátil e incolor. O níquel possui diferentes estados de oxidação e o mais frequente é o Ni^{2+} , que tem a capacidade de formar vários complexos. O níquel está presente no solo, água, ar e biosfera em concentrações traço. O níquel emitido no ambiente por fontes naturais ou antropogênicas circula por todos os compartimentos ambientais por meio de processos químicos e físicos, além de ser biologicamente transportado por organismos vivos (CETESB, 2012).

Na análise de água, do aquífero Aluvial, em Tabatinga, realizada em outubro de 2012, 80% (4/5) dos poços apresentaram teor de níquel abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. A presença de níquel foi detectada em apenas 20% (1/5) das amostras, com teor igual a 0,004 mg/L.

Todas as amostras analisadas apresentaram valores de níquel dentro dos padrões de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011 e pela Resolução CONAMA 396/2008.

Zinco

Metal brilhante encontrado na crosta terrestre e que pode se combinar com outros elementos formando compostos de zinco. O zinco e seus compostos têm muitos usos na indústria automobilística, de construção civil e de eletrodomésticos. É usado na fabricação de ligas resistentes à corrosão e na galvanização de produtos de ferro e aço. Os principais compostos de zinco são os óxidos (ZnO), utilizados nas indústrias de cerâmica, borracha e tintas; o sulfato de zinco ($ZnSO_4$) com aplicação na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em zinco; e o cloreto de zinco ($ZnCl_2$) usado para preservar madeiras e em pilhas secas e tintas. A principal emissão natural de zinco é por erosão. As fontes antropogênicas são mineração, produção de zinco, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e outros combustíveis, eliminação e incineração de resíduos e uso de fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco. A concentração de zinco em água superficial geralmente é menor que 10 $\mu g/L$, na água do mar está entre 0,002 e 0,1 $\mu g/L$ e na água subterrânea de 10 a 40 $\mu g/L$ (CETESB, 2012).

No aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga foi detectada a presença de zinco, com teores que ficaram compreendidos entre 0,0067 e 0,05 mg/L. Apesar das 05 (cinco) amostras apresentarem presença de zinco, todas estavam com valores abaixo do VMP de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011, bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas do aquífero Aluvial poderiam ser utilizadas para todos os usos nela prescritos sem restrições.

5.2.14 – BTEX e Fenóis

5.2.14.1 – BTEX

O grupo de compostos BTEX formado pelo **Benzeno**, **Tolueno**, **Etilbenzeno** e **Xilenos** (orto, meta e para) são extremamente tóxicos à saúde humana, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações, podendo levar a lesões do sistema nervoso central. O benzeno é reconhecidamente o mais tóxico de todos os BTEX, pois se trata de uma substância comprovadamente carcinogênica (podendo causar leucemia, ou seja, câncer dos tecidos que formam os linfócitos do sangue). Uma exposição aguda (altas concentrações em curtos períodos) por inalação ou ingestão pode causar até mesmo a morte de uma pessoa. O BTEX e outros alquilbenzenos perfazem cerca de 10 a 59% da gasolina (massa/massa), enquanto os hidrocarbonetos alifáticos compreendem 41 a 62% (Brito *et al.*, 2005).

Devido ao risco potencial a saúde humana que esse grupo de compostos oferece, a Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites para que a água seja considerada potável, como pode ser observada na **tabela 5.60**.

Tabela 5.60 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) segundo a Portaria MS 2914/2011.

Parâmetro	VMP (mg/L)
Benzeno	0,005
Tolueno	0,17
Etilbenzeno	0,2
Xilenos	0,3

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 5.61**.

Tabela 5.61 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Dessedentação Animal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Irrigação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Recreação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Benzeno	5	-	-	10
Tolueno	170	24	-	-
Etilbenzeno	200	-	-	-
Xileno Total (o,m,p xilenos)	300	-	-	-

Na segunda campanha de amostragem das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, realizada em outubro de 2012, verificou-se que todas as 05 (cinco) amostras de **Benzeno**, **Tolueno** e **Etilbenzeno** apresentaram teores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Todas as 05 (cinco) análises de **Xilenos** composta por o,xilenos e m,p xilenos apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L e de 0,002 mg/L, respectivamente.

Todas as amostras coletadas no aquífero Aluvial apresentaram teores de BTEX abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 5.60**), bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as

águas subterrâneas poderiam ser utilizadas para os usos nela prescritos (**tabela 5.61**).

5.2.14.2 – Fenóis

O fenol (CH₆H₅OH) é um sólido branco cristalino em seu estado puro. Geralmente é vendido e utilizado na forma líquida, possui odor forte, levemente doce e irritante. Apresenta diversas aplicações, como reagente na produção de resinas, plásticos, medicamentos, herbicidas e desinfetantes (CETESB, 2010). Os fenóis foram muito utilizados como germicidas e desinfetantes. Atacam o sistema nervoso central, podendo levar à morte com pouco tempo de exposição (Schmidt, 2010). Considerando os efeitos toxicológicos do fenol, a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceu limites máximos aceitáveis para a água subterrânea de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 5.62**.

Tabela 5.62 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Fenóis para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano (µg.L ⁻¹)	Dessedentação Animal (µg.L ⁻¹)	Irrigação (µg.L ⁻¹)	Recreação (µg.L ⁻¹)
Fenóis	3	2	-	2

No período de estiagem (outubro de 2012) foram realizadas amostragens de água no aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga para avaliação dos teores de fenóis, onde se verificou que 100% (5/5) das amostras analisadas apresentaram resultados inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L.

De acordo com a resolução CONAMA 396/2008, as águas dos poços amostrados poderiam ser aproveitadas para todos os usos nela prescritos.

5.2.15 – Isótopos Ambientais

5.2.15.1 – Oxigênio-18 e Deutério

A composição dos isótopos estáveis da água (¹⁸O e ²H) é modificada por processos meteóricos e por esta razão as águas de recarga dos aquíferos possuem uma *assinatura isotópica* característica, que serve como um traçador natural da *origem* das mesmas (Clark & Fritz, 1997).

O hidrogênio e o oxigênio fazem parte da molécula da água e apresentam cada um deles, três formas diferentes; o hidrogênio: ¹H, D (²H) e T (³H) e o oxigênio ¹⁶O, ¹⁷O e ¹⁸O. Por isso, a água pode ser encontrada em formas isotópicas diferentes, sendo as mais abundantes H₂¹⁶O, H₂¹⁸O e HD¹⁶O, cujas abundâncias relativas médias são, respectivamente, 99%, 0,2% e 0,032%.

Portanto, a quantidade de moléculas H₂¹⁸O e HD¹⁶O é muito pequena em relação à quantidade de moléculas H₂¹⁶O e varia dependendo da origem da água, de processos que ocorrem durante o seu deslocamento e de seu armazenamento superficial. Assim, estas moléculas marcam a água e são utilizadas como traçadores para pesquisar sua história.

Os resultados das medidas destes isótopos são expressos em termos de δ‰, definido por:

$$\delta\text{‰} = [(R_a - R_p) / R_p] \times 10^3$$

Onde, R_a é a razão isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou D/H, respectivamente, para o oxigênio e para o hidrogênio na amostra e R_p seu valor para uma água padrão VSMOW (*Vienna Standard Mean Ocean Water*) da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) em Viena/Áustria. O padrão SMOW originalmente era água do oceano, escolhido por Craig (1961).

O valor de δ mede, portanto, o enriquecimento (ou empobrecimento, quando $\delta < 0$) no isótopo pesado da amostra em relação ao padrão. É importante que, devido à grande predominância do isótopo mais leve (^1H ou ^{16}O), δ comporta-se como uma concentração numa mistura de águas de valores de δ diferentes (i.e. segue uma reta de mistura) (Craig, 1961).

Em virtude da complexidade do ciclo hidrológico é surpreendente que ^{18}O e ^2H tenham um comportamento perfeitamente previsível (Clark & Fritz, 1997). De fato, Craig (1961) descobriu que ^{18}O e ^2H em águas doces se correlacionam em escala global. A **Linha de Água Meteórica Global** (sigla em inglês GMWL) de Craig define a relação entre ^{18}O e ^2H através da **equação 5.1**.

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10\text{‰ SMOW} \quad (5.1)$$

O monitoramento subsequente da composição isotópica estável da chuva em escala global (IAEA – Rede Global para Isótopos na Precipitação) resultou, dez anos depois, no estabelecimento do padrão VSMOW e na substituição da **equação 5.1** pela **equação 5.2**.

$$\delta^2\text{H} = 8,13\delta^{18}\text{O} + 10,8\text{‰ VSMOW} \quad (5.2)$$

Na verdade essa relação (5.2) é “global” apenas na aplicação, sendo de fato uma média de muitas linhas de água meteórica regional e local que diferem da global devido à variação dos parâmetros climáticos e geográficos envolvidos (Clark & Fritz, 1997). Em hidrologia isotópica, a **equação (5.2)**, que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig, é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas.

No caso de Tabatinga, o diagrama da **figura 5.49** (elaborado com os dados da **tabela 5.63**) mostra que a **Linha de Água Subterrânea (LAS)** ou **Reta de Água Subterrânea (RAS)** do aquífero Aluvial apresenta desvio significativo em relação à **Reta de Água Meteórica Mundial (RMM)** da região. Comparando as equações das retas RAS e RMM (fazendo $\delta^2\text{H}^0/_{00} = 0$) verifica-se que:

$$\text{Para a RAS: } \delta^{18}\text{O} = -\frac{24,5}{10,3} = -2,38 \text{‰}_{00}$$

$$\text{Para a RMM: } \delta^{18}\text{O} = -\frac{10,8}{8,13} = -1,33 \text{‰}_{00}$$

Ocorre, portanto, uma variação de -1,05 na concentração isotópica de $\delta^{18}\text{O}^0/_{00}$ das águas subterrâneas em relação às precipitações, indicando a recarga do aquífero Aluvial provém de águas de chuvas com 79% de perda de $\delta^{18}\text{O}$ por evaporação.

Tabela 5.63 – Valores de deutério e oxigênio-18 dosados nas amostras coletadas em Tabatinga, na segunda campanha de amostragem (outubro de 2012).

Poço	$\delta D\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$
TBT08	-46,8	-6,87
TBT09	-31,7	-5,69
TBT15	-39,1	-6,77

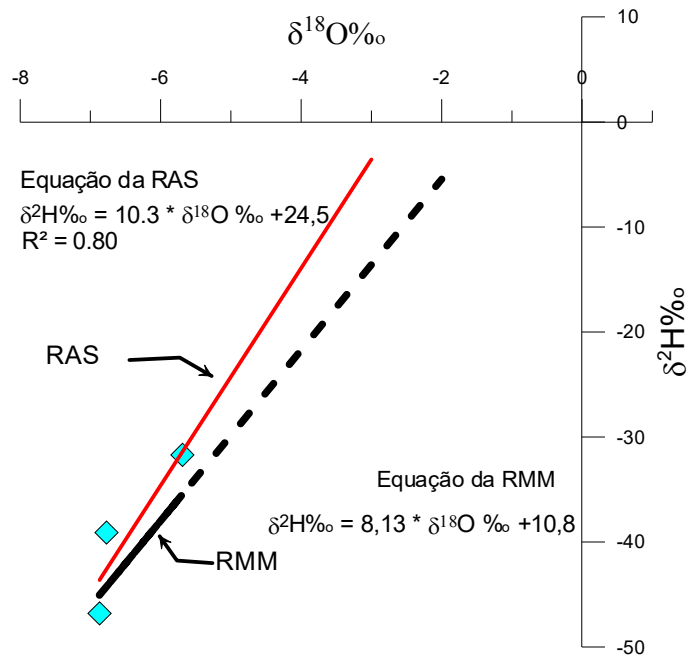


Figura 5.49 – Diagrama mostrando a relação de oxigênio-18 e deutério das precipitações e das águas subterrâneas do aquífero Aluvial de Tabatinga - AM.

5.2.15.2 – Trício

Trício na Precipitação

Os testes atmosféricos de armas nucleares realizados entre os anos de 1952 e 1962 produziram uma quantidade formidável de trício atmosférico. Essa tremenda entrada de ^3H na atmosfera criou na estratosfera um reservatório desse isótopo que literalmente contaminou o sistema global de precipitação durante 40 anos. Em 1963 um tratado Americano-Soviético suspendeu os testes de armas termonucleares, embora alguns testes franceses e chineses tenham sido realizados até 1980 (Clark & Fritz, 1997). O ano de 1962, quando foram encerrados os testes nucleares, gerou um imenso pico de ^3H , que apareceu na primavera de 1963 e se tornou uma marca usada em muitos estudos hidrológicos. As concentrações de ^3H nas precipitações estão agora praticamente de volta aos níveis cosmogênicos naturais (Clark & Fritz, 1997).

Datação de Água Subterrânea com Trício

O trício (^3H) é provavelmente o radioisótopo mais frequentemente empregado para identificar a presença de recarga moderna (Clark & Fritz, 1997).

Kaufman & Libby (1954) foram os primeiros a reconhecer o potencial do ^3H cosmogênico para a datação de águas subterrâneas e existem vários métodos *quantitativos* e *qualitativos* com uso desse isótopo. A atenuação dos níveis de trício na atmosfera afeta a confiabilidade das interpretações quantitativas, o que leva a interpretações qualitativas. Uma interpretação qualitativa significa que os tempos de trânsito ou de residência não podem ser determinados (Clark & Fritz, 1997).

Uma proposta de interpretação qualitativa de dados de ^3H , feita por Clark & Fritz (1997) para dados de regiões de baixa latitude, relaciona (**tabela 5.64**) os valores de Unidades de Trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas.

Tabela 5.64 – Relação entre unidades de trício (U.T.) e idade das águas subterrâneas.

Unidade de trício (U.T.)	Interpretação qualitativa da idade
< 0,8	Água submoderna, recarga anterior a 1952
0,8 a 2	Mistura de água submoderna com recarga recente
2 a 8	Água moderna (<5 a 10 anos)
10 a 20	Água com presença de ^3H residual da "bomba"
>20	Água com uma componente significativa de recarga dos anos 1960 e 1970

Os dados de ^3H obtidos em 6 (seis) amostras coletadas em Tabatinga (**figura 5.50**) revelam, de acordo com a interpretação qualitativa mostrada na **tabela 5.64**, que o aquífero Aluvial possui mistura de água submoderna com recarga recente.

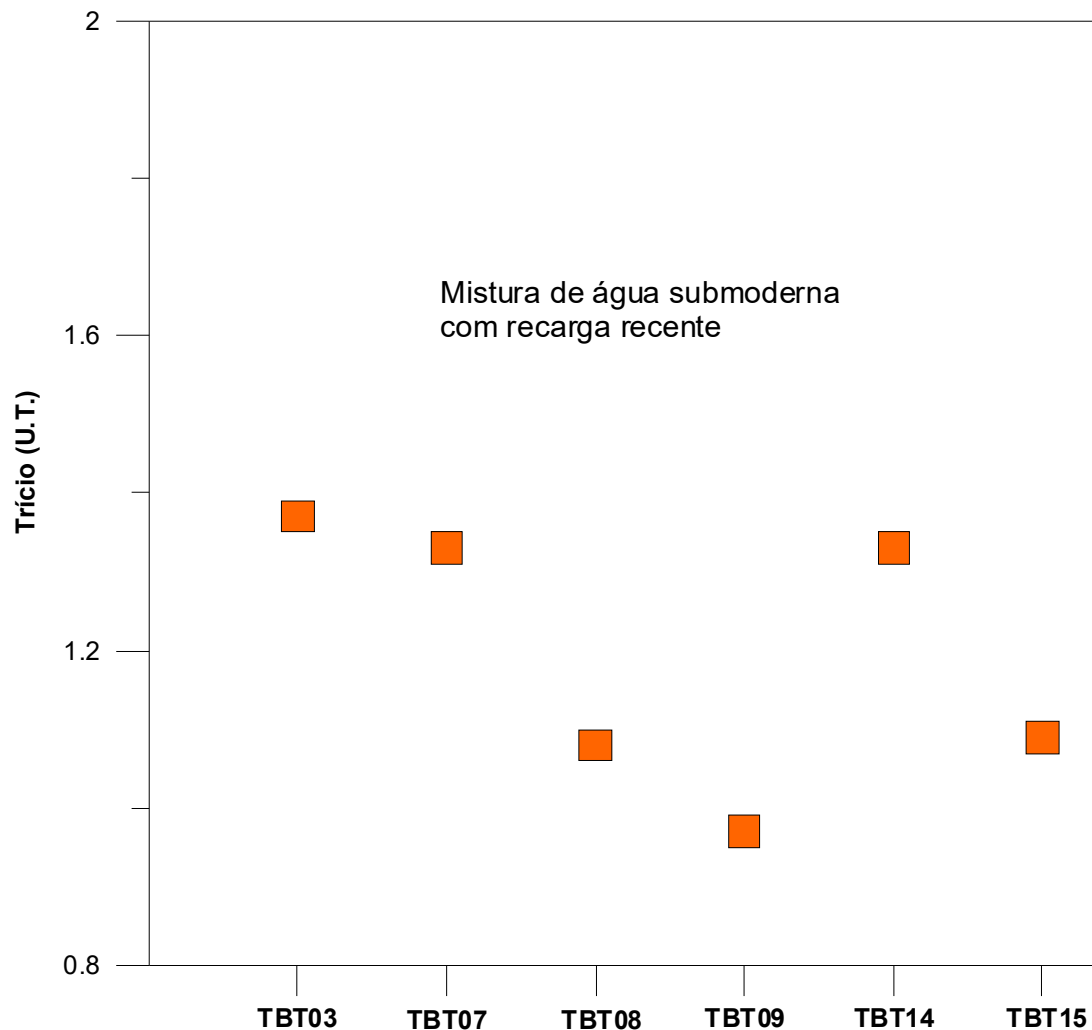


Figura 5.50 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Aluvial, em Tabatinga, segundo os dados de trítio de 6 (seis) amostras coletadas.

5.2.15.3 - Carbono-14

O carbono-14 embora não pertencendo à molécula d'água é um excelente traçador das águas subterrâneas, onde está presente na forma de bicarbonato dissolvido proveniente do CO₂ do ar, trazido pelas precipitações, do CO₂ existente no solo, vindo principalmente pela respiração das raízes e dissolução dos calcários. O uso deste isótopo no estudo das águas subterrâneas foi proposto por Münich (1957).

De acordo com o diagrama da **figura 5.51**, elaborado a partir dos dados contidos na **tabela 5.65**, a medida de carbono-14 indica presença de água moderna no poço TBT07 (105,2 pMC) no aquífero Aluvial, ou seja, água com tempo de residência inferior a 200 anos.

Tabela 5.65 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (*percent modern carbon*).

Resultado	TBT07
Idade Aparente C14 (Fração Moderna)	105,2+/-0,4 pMC
Fmdn- fração de carbono moderno	1,0524 +/-0,0039
Razão C13/C12 (‰)	-23

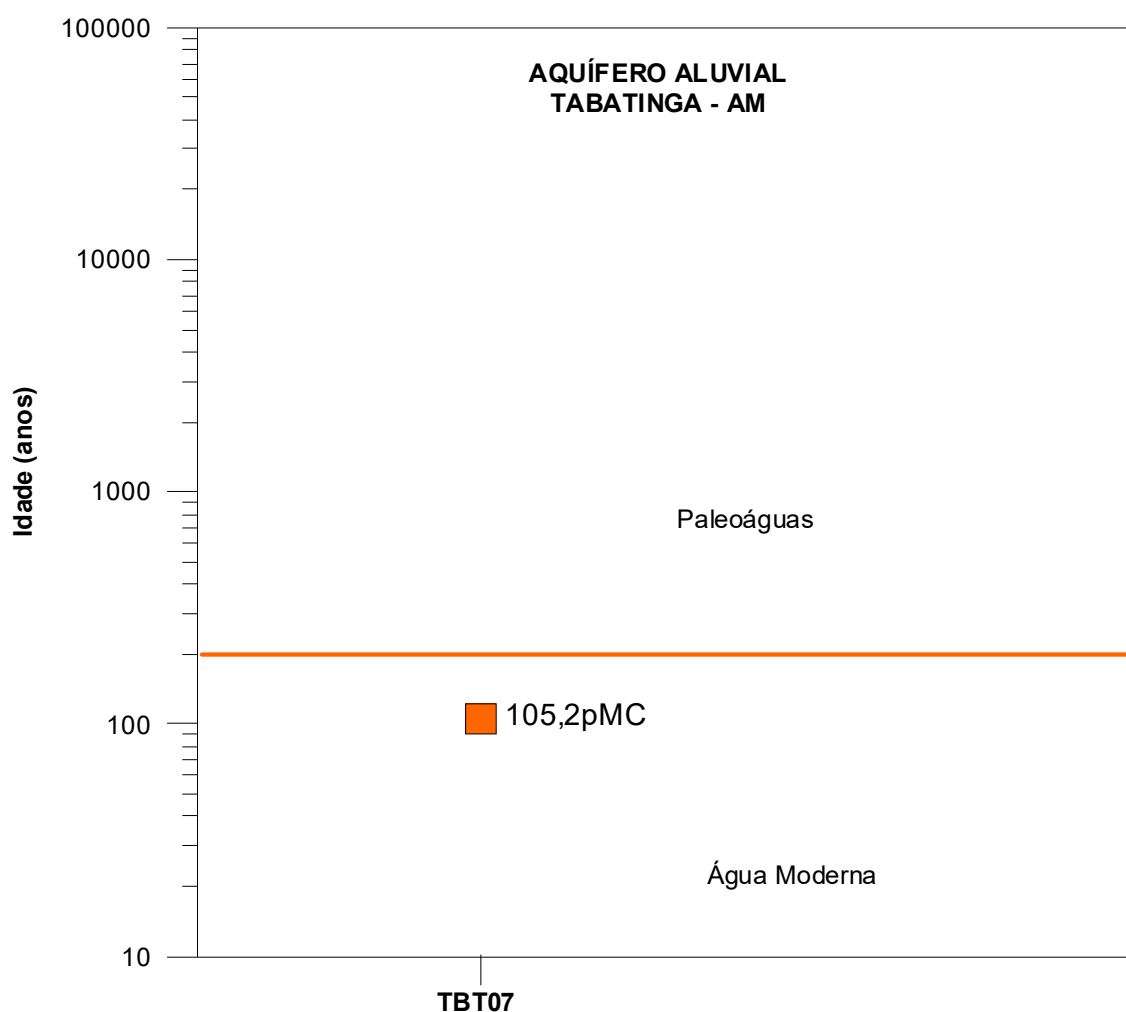


Figura 5.51 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.

5.2.15.4 – Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no âmbito desse projeto permitiram alcançar os seguintes resultados:

- As análises de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Aluvial, em Tabatinga, provém de águas meteóricas, ou seja, águas de chuva com 79% de perda de $\delta^{18}\text{O}$ por evaporação;
- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) e indicaram que as águas do aquífero Aluvial têm mistura de água submoderna com recarga recente;
- A datação radiométrica de Carbono-14 revelou a presença de água moderna (105,2 pMC), com menos de 200 anos BP.

5.2.16 – Parâmetros Biológicos

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes. Por serem considerados indicadores microbiológicos de contaminação fecal da água são mundialmente utilizados, podendo indicar eventuais perigos para a saúde humana. Vale ressaltar que nem toda água que contenha coliformes é contaminada por microorganismos patogênicos (Feitosa *et al.*, 2008).

Coliformes Totais

Bacilos gram-negativos, aeróbicos ou anaeróbicos facultativos, não formadores de esporos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35 \pm 0,5$ °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase (Feitosa *et al.*, 2008). Os coliformes totais, dada a sua possível incidência em águas e solos não contaminados, representam, portanto, outros organismos de vida livre, e não intestinal. No caso específico de abastecimento de água potável, a água tratada não deve conter coliformes totais, os quais, caso encontrado, sugere tratamento inadequado, contaminação posterior ou nutriente em excesso (Von Sperling, 2005).

A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano, a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, apresentaram em 27% (4/15) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 40% (6/15) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, 73% (11/15) dos poços na primeira campanha e 60% (9/15) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano, o que representa um risco para a saúde, haja vista que a população da área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos, principalmente o doméstico.

Tais resultados ocorrem no aquífero Aluvial, pois a área de estudo está inserida numa região bastante urbanizada e que não possui sistema de esgotamento

sanitário, o que segundo Zoby (2008) é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

Zoneamento dos Coliformes Totais

A distribuição espacial dos coliformes totais, no período chuvoso (abril de 2012) e no período de estiagem (outubro de 2012), nas águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, pode ser visualizada na **figura 5.52a** e **figura 5.52b**, respectivamente. Em ambas as campanhas é possível notar a contaminação por coliformes totais, 27% no período chuvoso e 40% no período de estiagem, o que é plausível pela urbanização da área associada à contaminação por fossas sépticas situadas próximas aos poços.

Tais resultados são coerentes, pois no período de estiagem com a cessação do período de cheias, ocorre a diminuição da renovação das águas, fazendo com que os contaminantes ali presentes se elevem.

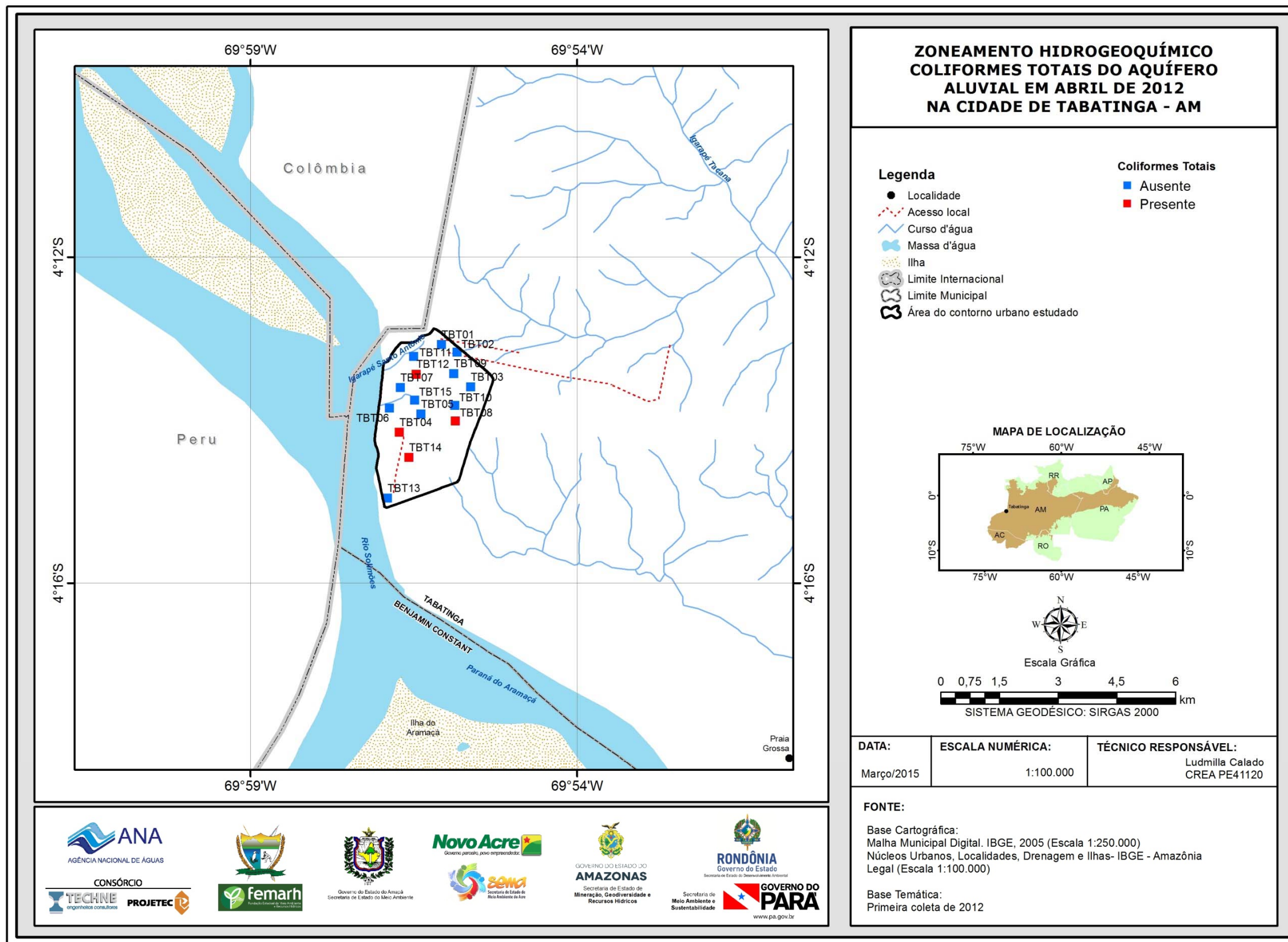


Figura 5.52a – Distribuição dos poços com presença /ausência de coliformes totais no aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012) na cidade de Tabatinga - AM.

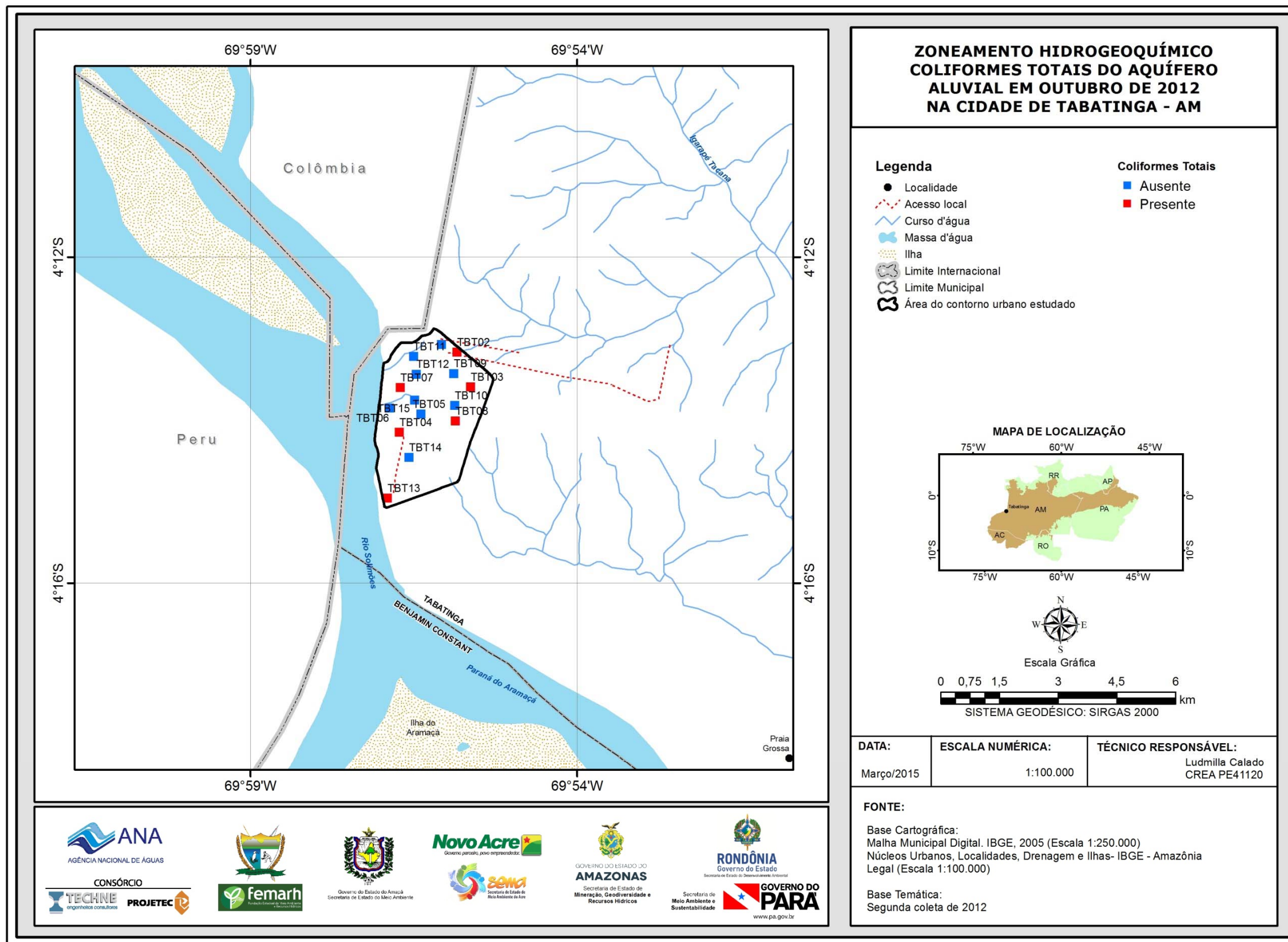


Figura 5.52b – Distribuição dos poços com presença /ausência de coliformes totais no aquífero Aluvial no período de estiagem (outubro de 2012) na cidade de Tabatinga - AM.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros. A sua presença indica que poderão estar presentes microorganismos causadores ou transmissores de doenças patogênicas. Diferentemente dos coliformes totais, *E. coli* é a única que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal (Von Sperling, 2005; Feitosa *et al.*, 2008).

A Portaria MS 2914/2011 estabeleceu como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA 396/2008 estabelece padrões de microorganismos de acordo com os usos preponderantes da água subterrânea, como pode ser observado na **tabela 5.66**.

Tabela 5.66 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de microorganismos para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano	Dessedentação Animal	Irrigação	Recreação
<i>E. coli</i>	Ausentes em 100 mL	100 / 200 mL	-	800 / 100 mL

Na primeira campanha de amostragem, realizada no período chuvoso de abril de 2012, nas águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, foi detectada a presença de *E. coli* em 13% (2/15) das amostras. Enquanto que, na segunda campanha, realizada no período de estiagem (outubro de 2012), nenhuma das amostras apresentou resultado positivo para a presença de *E. coli*.

Com base nos resultados das análises verifica-se que 87% (13/15) e 100% (15/15) das amostras respectivamente na primeira e segunda campanha, apresentaram águas dentro dos padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como, nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as suas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 5.66**).

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório; localização inadequada do poço; e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a presença de *E. coli* no aquífero Aluvial se deve provavelmente pelo lançamento de esgoto *in natura*, que infiltra no solo e contribui para a contaminação do lençol freático, o que é extremamente preocupante, pois pode acarretar na população doenças de veiculação hídrica,

tais como, amebíase, giardíase, gastroenterite, febres tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera.

Zoneamento da *Escherichia Coli*

A distribuição espacial da presença e ausência de *E. coli* nas águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, analisadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período de estiagem (outubro de 2012), podem ser observadas respectivamente na **figura 5.53a** e **figura 5.53b**.

Na primeira campanha é possível verificar a contaminação por microorganismos em 13% das amostras, enquanto que no período de estiagem a contaminação foi ausente. A presença de *E. coli* no período de estiagem diminui, pois com a cessação das cheias que ocorrem no período chuvoso, há menor incidência de transbordamento das fossas sépticas e das galerias de drenagem, que recebem os dejetos lançados pelas residências e estabelecimentos e, conseqüentemente, a diminuição da contaminação por esgotos no lençol freático.

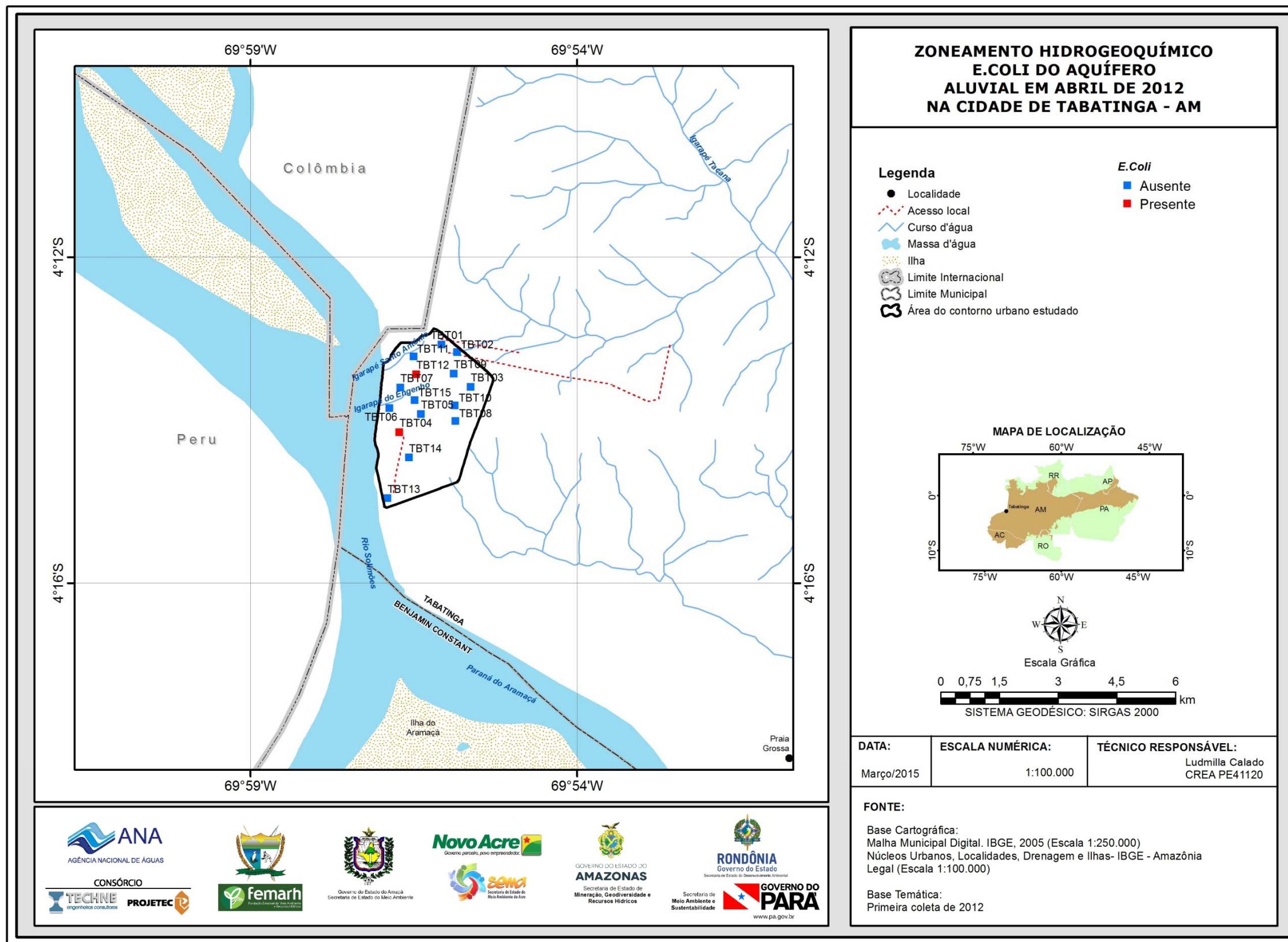


Figura 5.53a – Distribuição dos poços com presença /ausência de *E. coli* no aquífero Aluvial no período chuvoso (abril de 2012), na cidade de Tabatinga - AM.

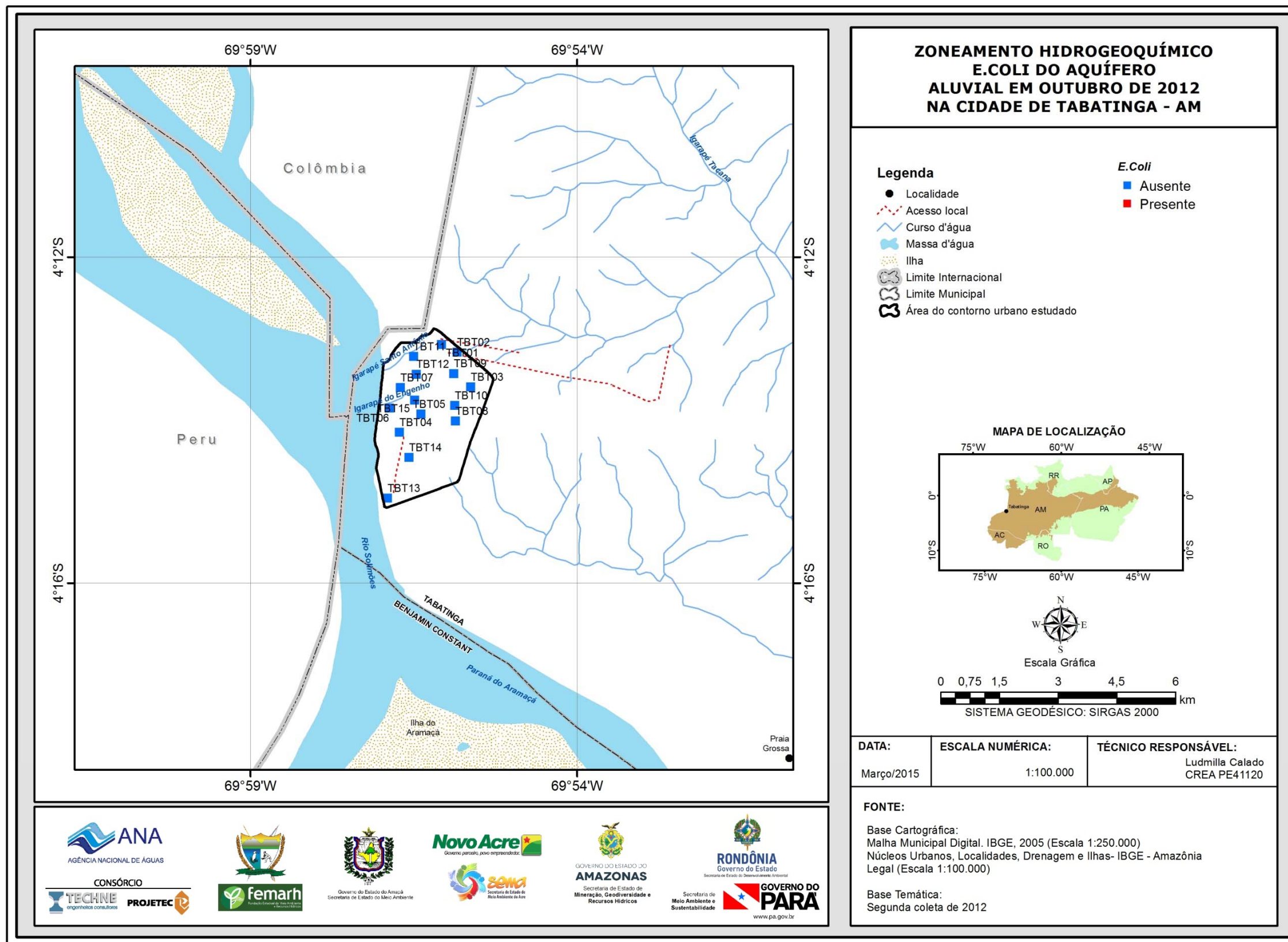


Figura 5.53b – Distribuição dos poços com presença /ausência de *E. coli* no aquífero Aluvial no período de estiagem (outubro de 2012), na cidade de Tabatinga - AM.

5.2.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do aquífero Aluvial Segundo a Composição Química

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, com base nos dados coletados na rede de 15 (quinze) poços de monitoramento, em duas campanhas: a primeira no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

5.2.17.1 – Diagrama Triangular de Piper

Período chuvoso

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 5.54**, é possível identificar que as águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, no período chuvoso de abril de 2012, no que se refere aos ânions são 46,7% (7/15) cloretadas, 46,7% (7/15) bicarbonatadas, e 6,7% (1/15) mistas. Já no que concerne a presença de cátions, as águas são 66,7% (10/15) sódicas, 26,7% (4/15) mistas, e 6,7% (1/15) cálcicas como indica a **tabela 5.67**.

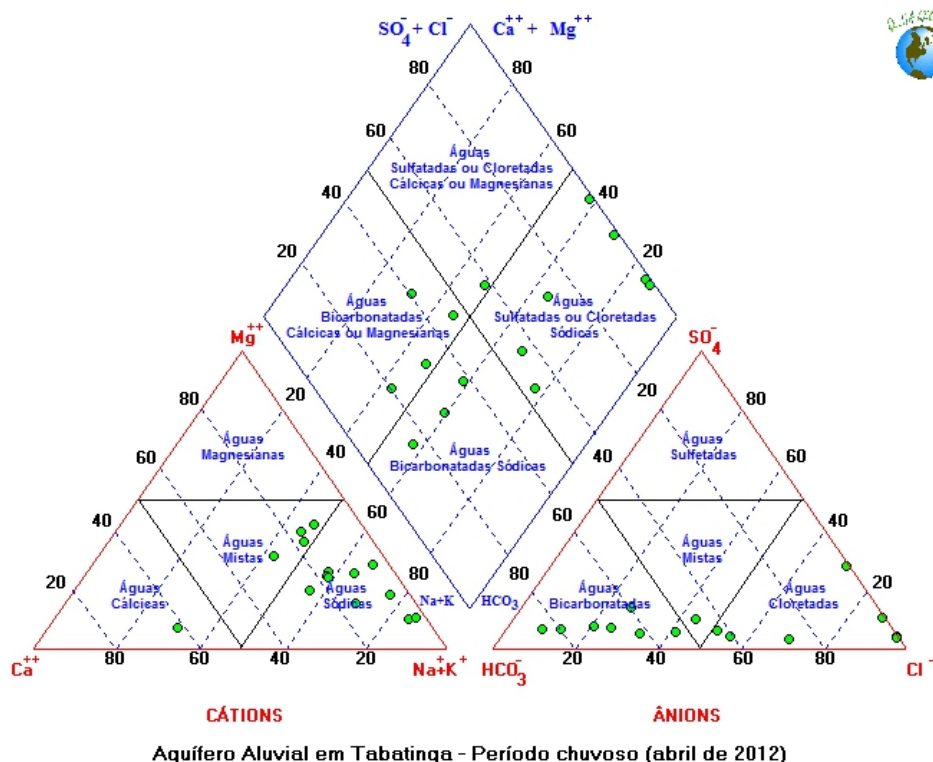


Figura 5.54 – Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.

Tabela 5.67 - Classificação das Águas do aquífero Aluvial em Tabatinga - Período Chuvoso (abril de 2012).

Cátions	Número de Poços	%	Anions	Número de Poços	%	Geral	Número de Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfetadas	0	0	Águas Cloretadas Cállicas	1	7
Águas Cállicas	1	7	Águas Bicarbonatadas	7	47	Águas Bicarbonatadas Cállicas	4	27
Águas Sódicas	10	67	Águas Cloretadas	7	47	Águas Bicarbonatadas Sódicas	3	20
Águas Mistas	4	27	Águas Mistas	1	7	Águas Cloretadas Sódicas	7	47

Com base nos dados apresentados na **tabela 5.67**, é possível afirmar que de modo geral, as águas do aquífero Aluvial, coletadas em abril de 2012, podem ser classificadas em cloretadas sódicas (47%), bicarbonatadas cállicas (27%), bicarbonatadas sódicas (20%) e águas cloretadas cállicas (7%).

A distribuição espacial da classificação dessas águas pode ser visualizada na **figura 5.55**.

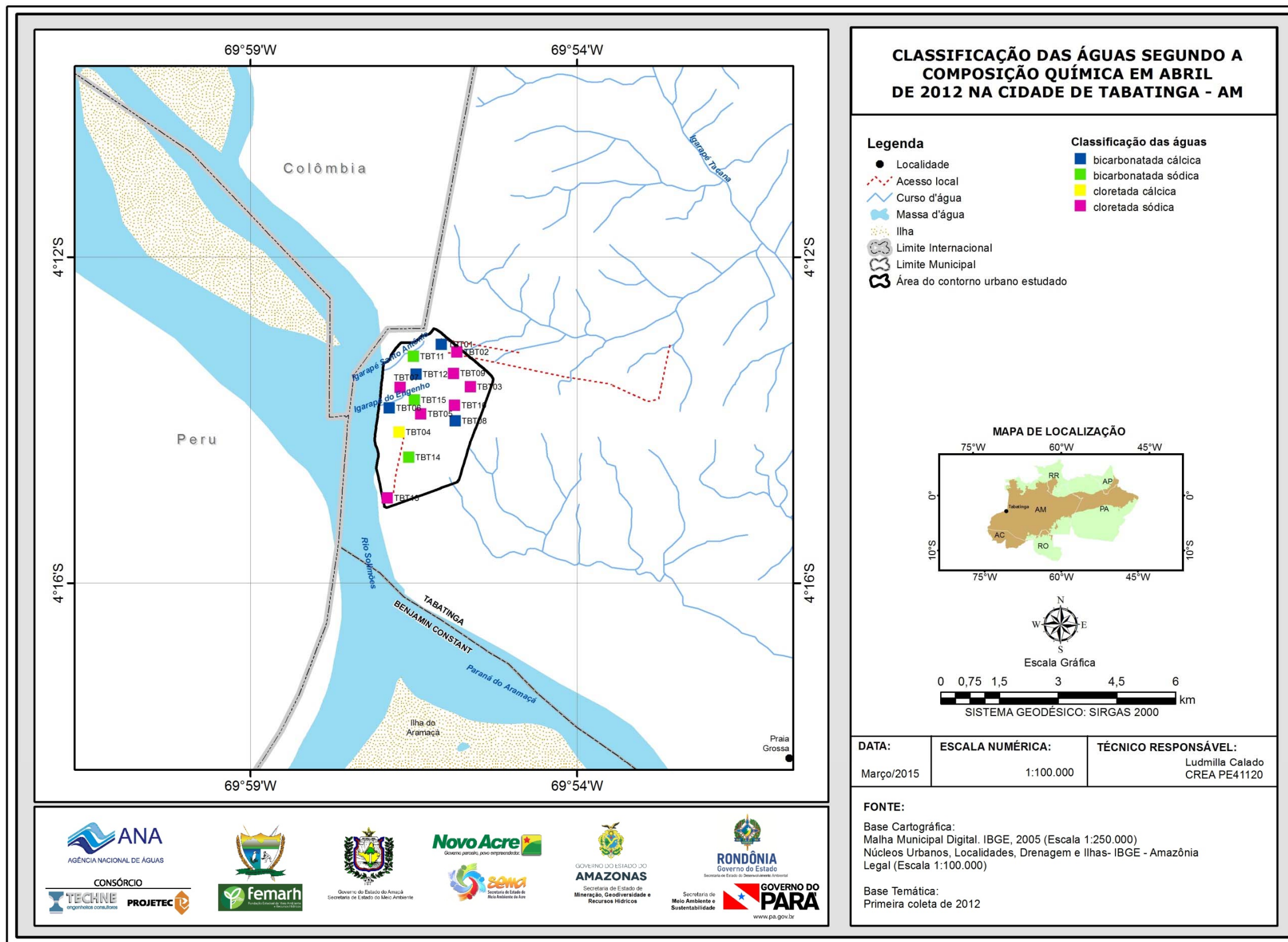


Figura 5.55 - Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga segundo a composição química - Período chuvoso (abril de 2012).

Período de estiagem

De acordo com a **figura 5.56** verifica-se que as águas do aquífero Aluvial, no período seco de outubro de 2012, quanto à presença de ânions, são 46,7% (7/15) cloretadas e 40% (6/15) bicarbonatadas, e 13,3% (2/15) mistas, conforme apresentado na **tabela 5.68**. Com relação aos cátions é possível identificar que 93,3% (14/15) das águas são sódicas e 6,7% (1/15) são mistas, como pode ser observado na **tabela 5.68**.

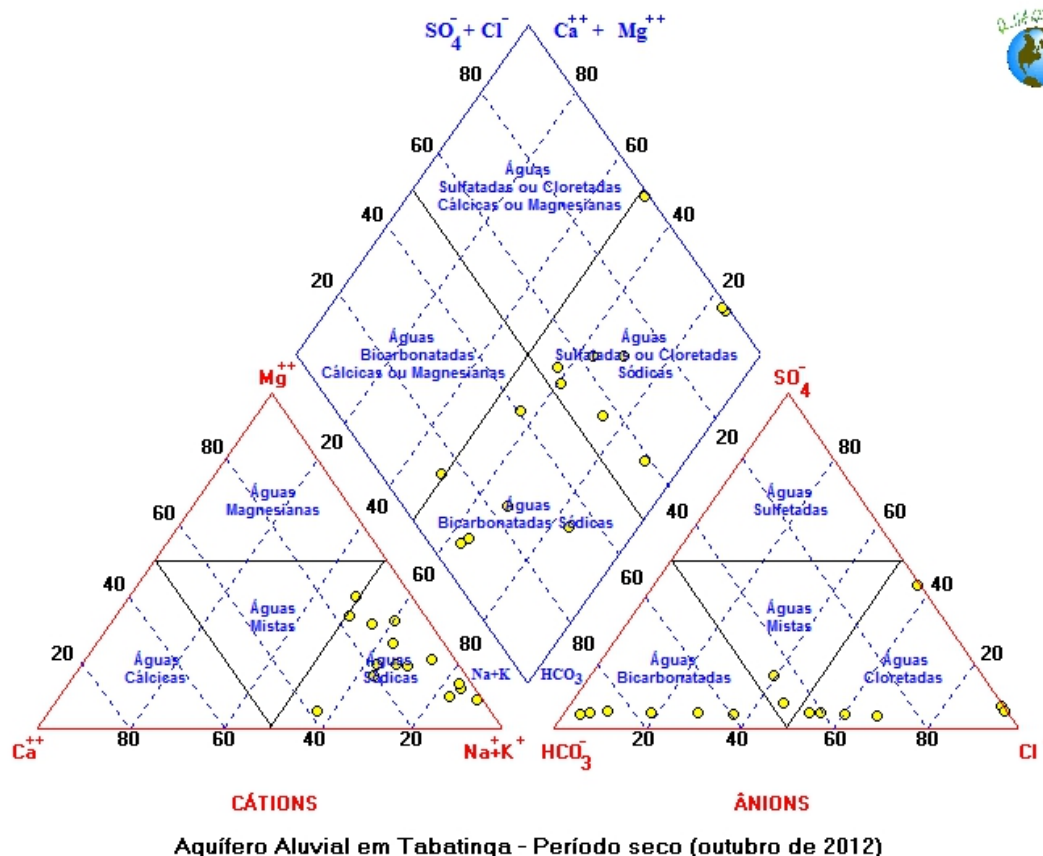


Figura 5.56 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.

Com base nos dados apresentados na **figura 5.56** e na **tabela 5.68**, é possível afirmar que, a maioria (60%) das águas do aquífero Aluvial, coletadas em outubro de 2012, são *Cloretadas Sódicas*.

Os 40% restantes dos poços apresentam águas de composição química diversa, dentre as quais se encontram: 33% (5/15) água bicarbonatada sódica e 7% (1/15) água bicarbonatada cálcica. A ocorrência desses tipos fora do padrão é provavelmente atribuída a influências antrópicas, pois a área de estudo está localizada em espaço geográfico bastante urbanizado.

A distribuição espacial da classificação dessas águas pode ser visualizada na **figura 5.57**.

Tabela 5.68 - Classificação das Águas do aquífero Aluvial em Tabatinga - Período seco (outubro de 2012).

Cátions	Número de Poços	%	Anions	Número de Poços	%	Geral	Número de Poços	%
Águas Magnesíanas	0	0	Águas Sulfetadas	0	0	Águas Cloretadas Cálcidas	0	0
Águas Cálcidas	0	0	Águas Bicarbonatadas	6	40	Águas Bicarbonatadas Cálcidas	1	7
Águas Sódicas	14	93	Águas Cloretadas	7	47	Águas Bicarbonatadas Sódicas	5	33
Águas Mistas	1	7	Águas Mistas	2	13	Águas Cloretadas Sódicas	9	60

A comparação dos resultados das duas campanhas, no que se refere à composição química das águas subterrâneas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga, mostra que o padrão de águas *Cloretadas Sódicas* não se modifica com a sazonalidade.

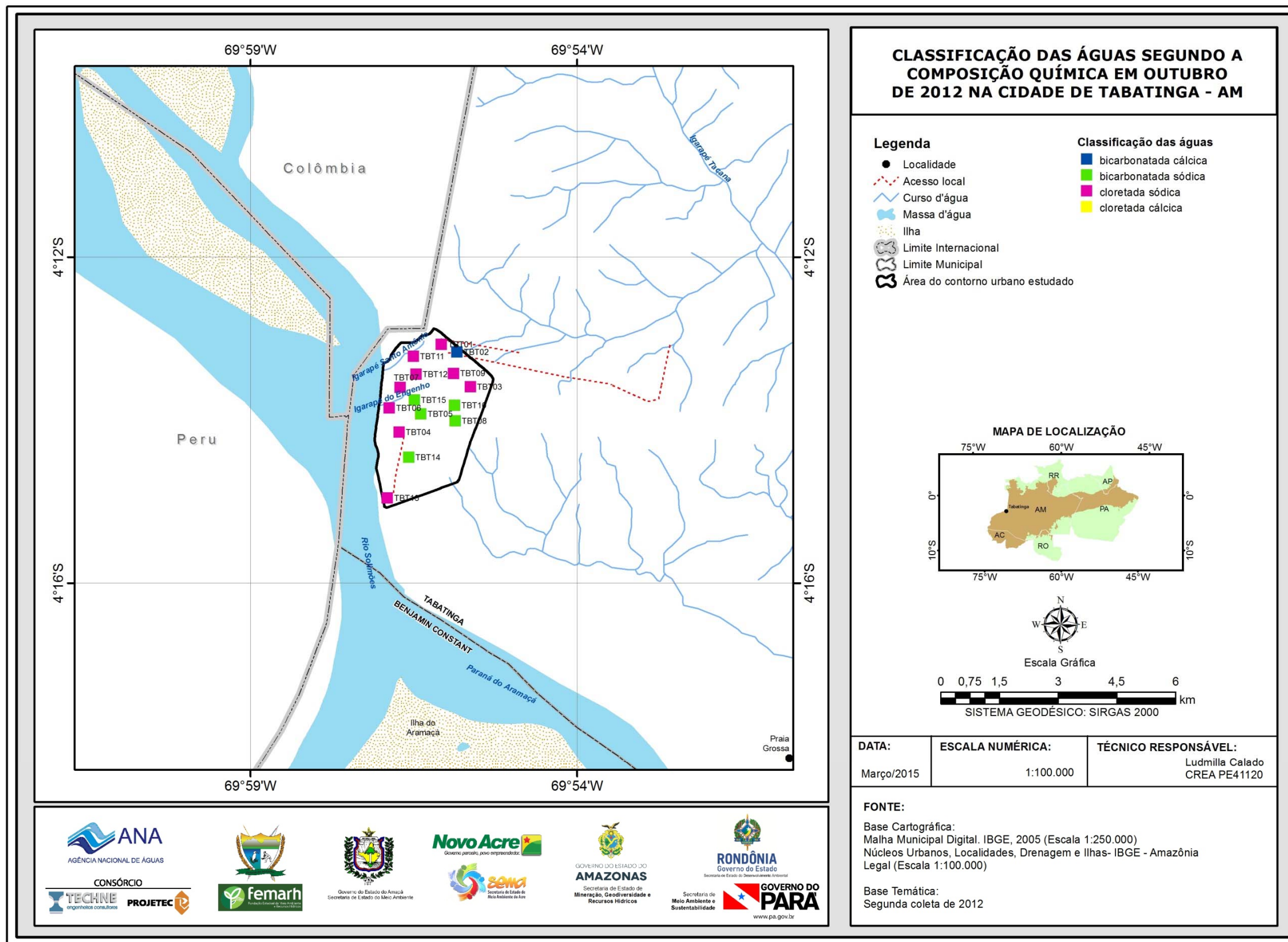


Figura 5.57 - Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga segundo a composição química - Período seco (outubro de 2012).

5.2.17.2 – Diagramas de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012, em 15 poços situados na área urbana de Tabatinga, foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos os íons predominantes em cada um dos pontos analisados.

Período chuvoso

Os resultados da primeira campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Aluvial segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 5.69**.

Tabela 5.69 - Classificação das Águas do aquífero Aluvial em Tabatinga de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Cloretada Sódica	07	46,7
Água Bicarbonatada Sódica	07	46,7
Água Bicarbonatada Cálcica	01	6,7

Dentre as amostras de Tabatinga coletada no período chuvoso, em abril de 2012, são 46,7% (7/15) cloretadas sódicas (**figura 5.58a**); 46,7% (7/15) bicarbonatadas sódicas (**figura 5.58b**); e 6,7% (1/15) bicarbonatada cálcica (**figura 5.58c**). Tais dados permitem classificar as águas do aquífero Aluvial em abril de 2012 como *Cloretadas Sódicas* e *Bicarbonatadas Sódicas*.

Aquífero Aluvial (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

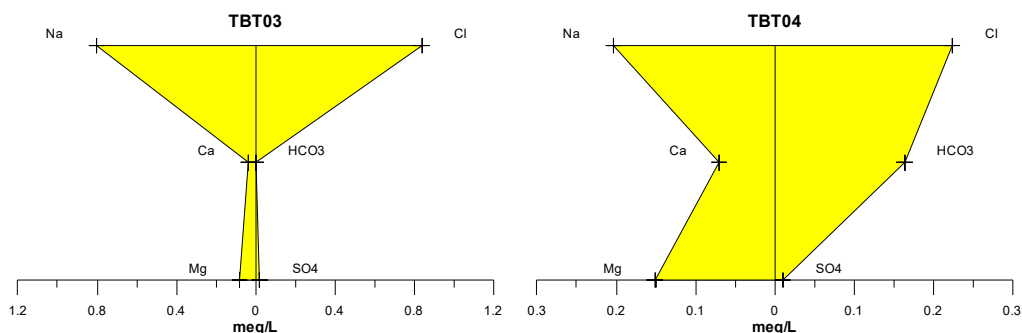


Figura 5.58a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.

Continuação

Aquífero Aluvial (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

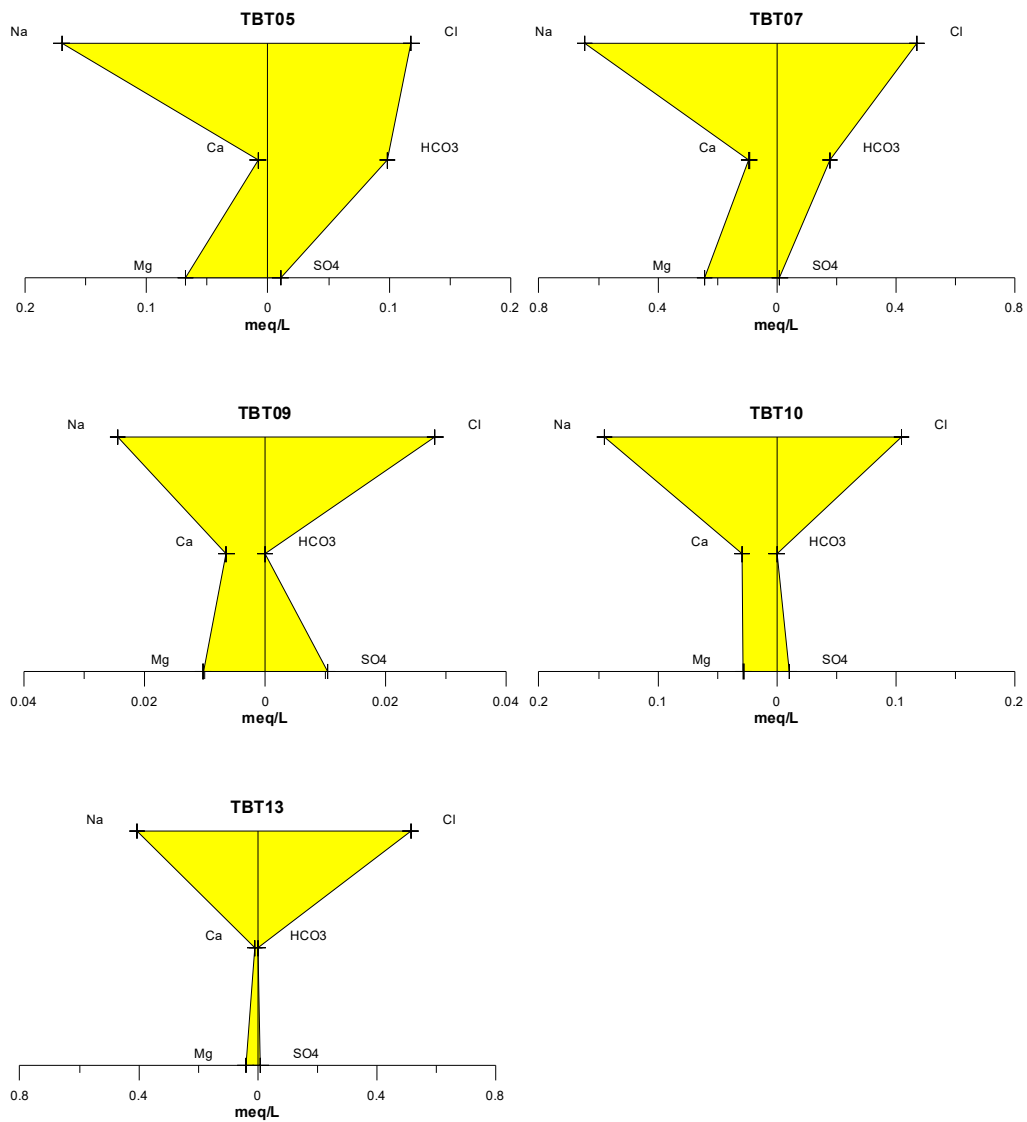


Figura 5.58a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM (continuação).

Aquífero Aluvial (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012

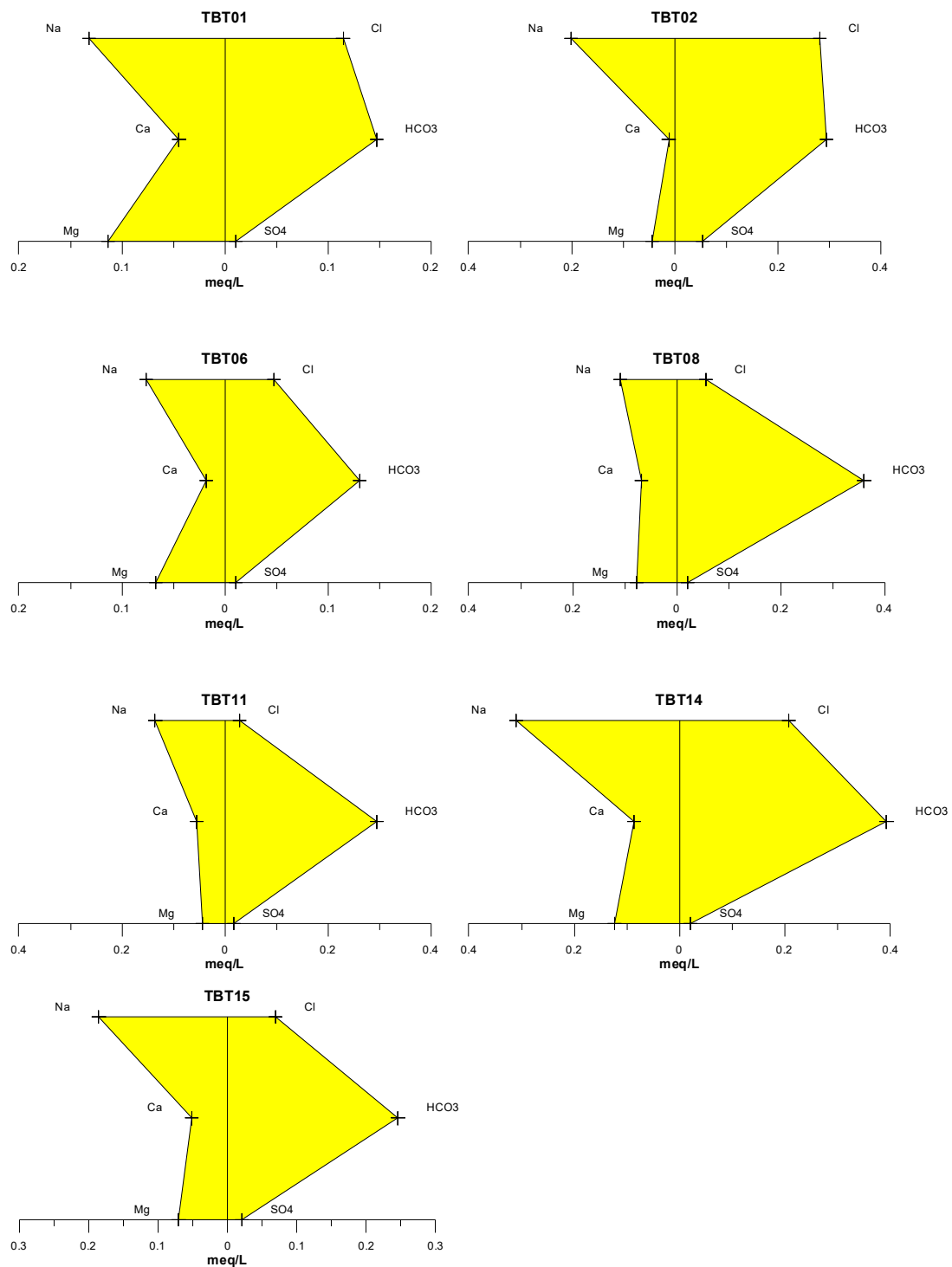


Figura 5.58b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.

Aquífero Aluvial (Água Bicarbonatada Cálcica) – abril de 2012

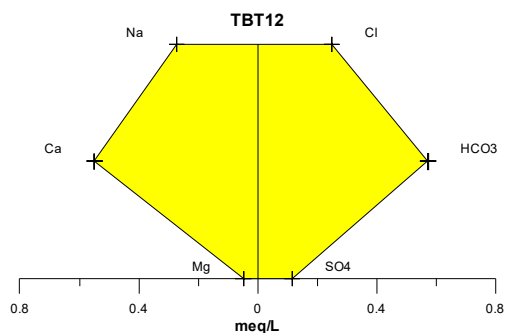


Figura 5.58c – Água bicarbonatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.

Período de estiagem

Os resultados da segunda campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Aluvial segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 5.70**.

Tabela 5.70 - Classificação das Águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Cloretada Sódica	07	47
Água Bicarbonatada Sódica	08	53

Analisando os resultados das amostras de Tabatinga, coletadas no período seco, em outubro de 2012, verificou-se que 47% (7/15) das águas são classificadas como cloretadas sódicas (**figura 5.59a**) e 53% (8/15) bicarbonatadas sódicas (**figura 5.59b**). Sendo, portanto, classificadas a maioria das águas do aquífero Aluvial em outubro de 2012 como *Bicarbonatadas Sódicas*.

Aquífero Aluvial (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

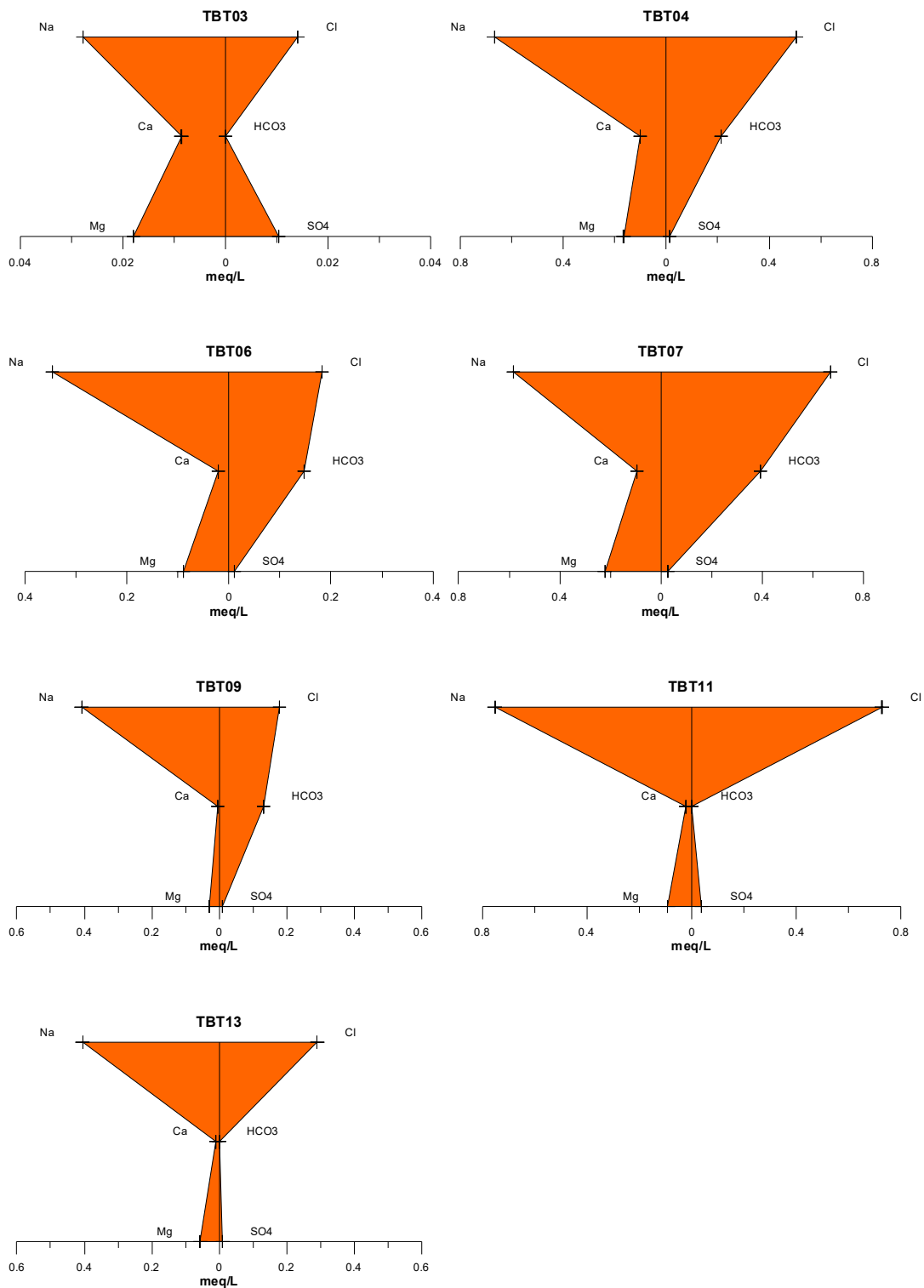


Figura 5.59a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.

Aquífero Aluvial (Águas Bicarbonatadas Sódicas) - outubro de 2012

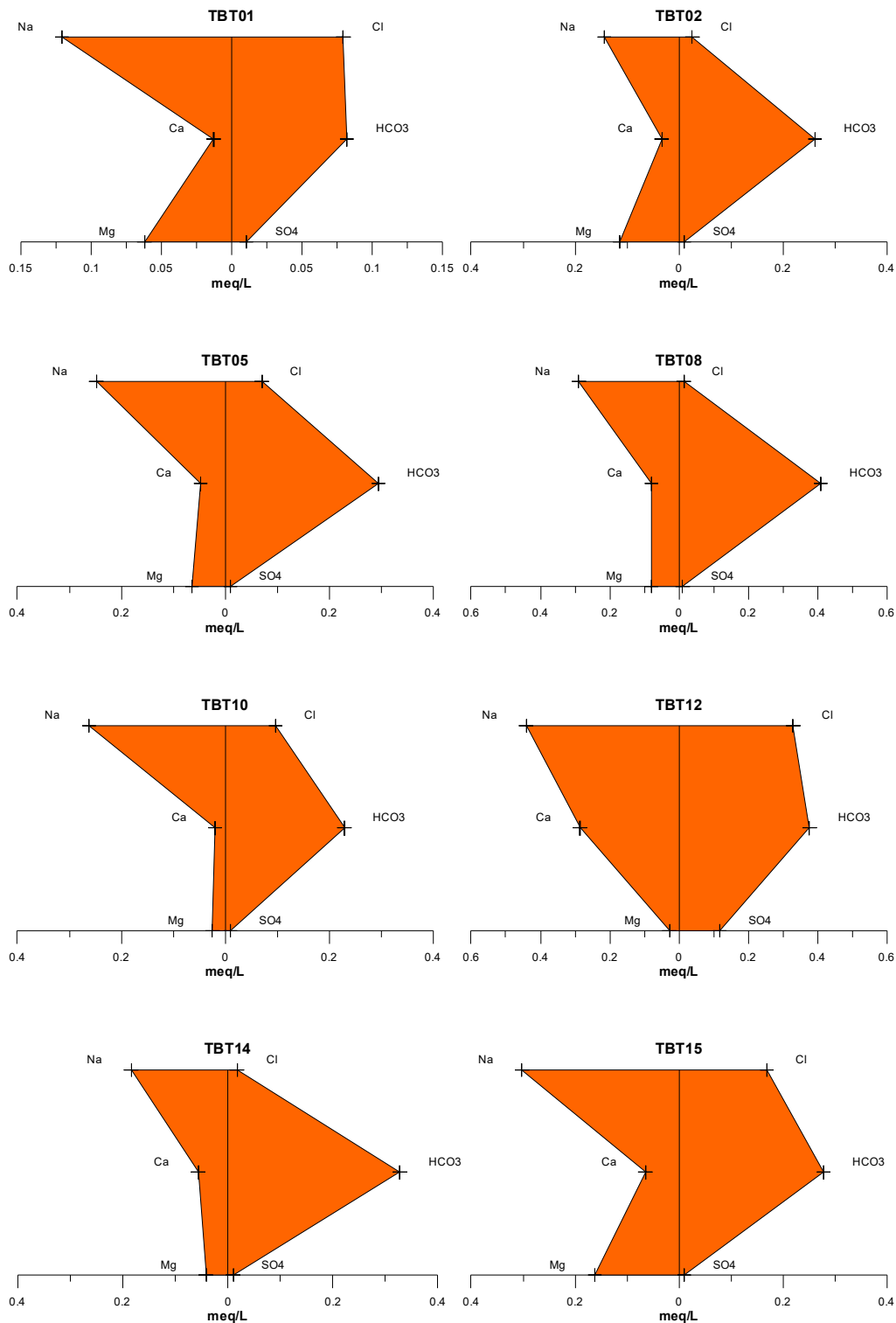


Figura 5.59b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.

5.2.18 – Classificação das Águas Subterrâneas Segundo o Uso

5.2.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para Consumo Humano

A partir da análise da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga para consumo humano, por meio do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, é possível verificar que no período chuvoso de abril de 2012 (**figura 5.60**) todos os parâmetros apresentaram valores abaixo do VMP, assim como, a classificação das águas como de boa potabilidade.

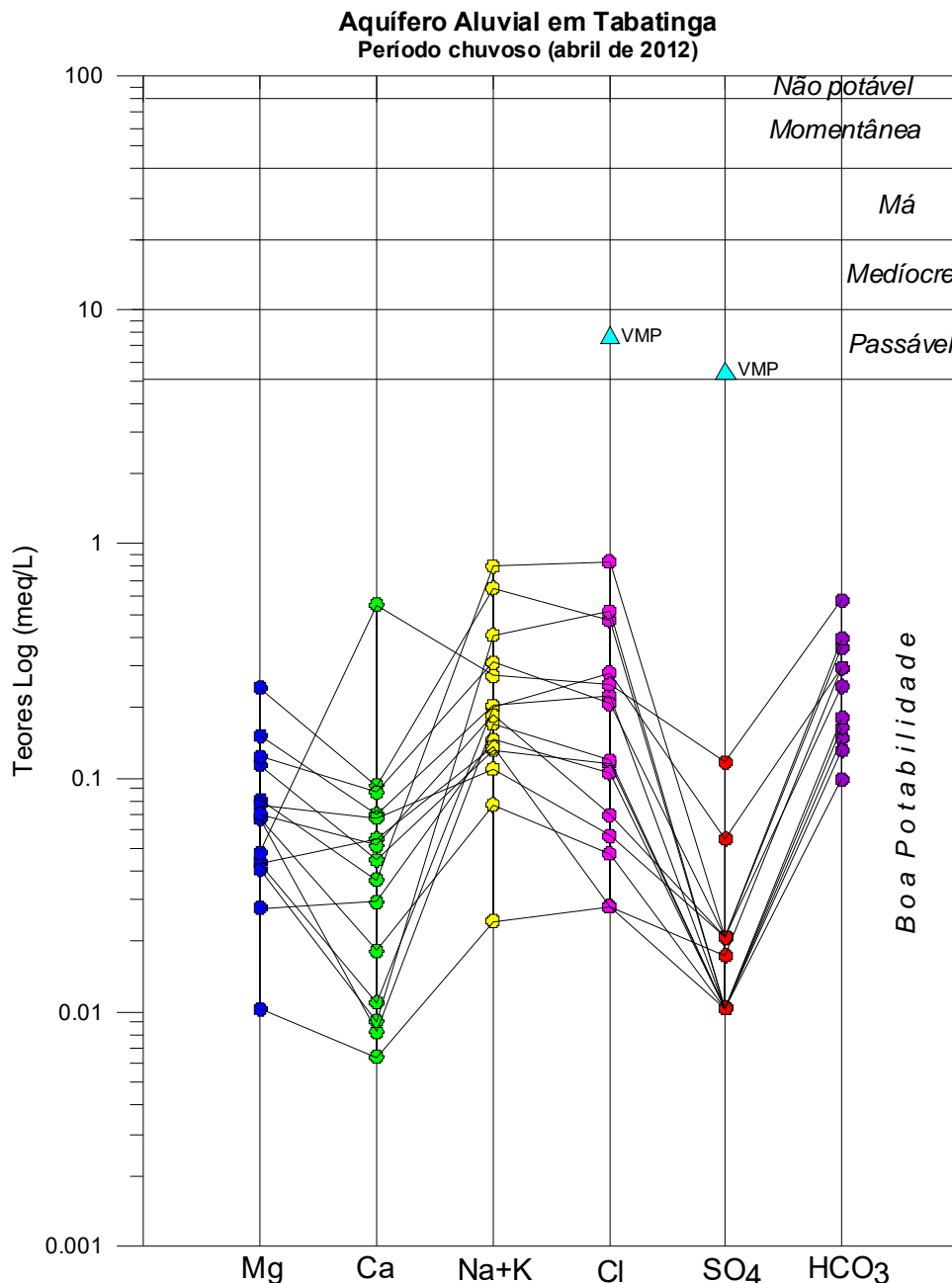


Figura 5.60 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga no período chuvoso segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

Mediante avaliação dos dados coletados em outubro de 2012 (**figura 5.61**), verifica-se que todos os parâmetros analisados estão abaixo do VMP, assim como estão enquadrados na classe de boa potabilidade, indicando que as águas, podem ser usadas para consumo humano sem restrições.

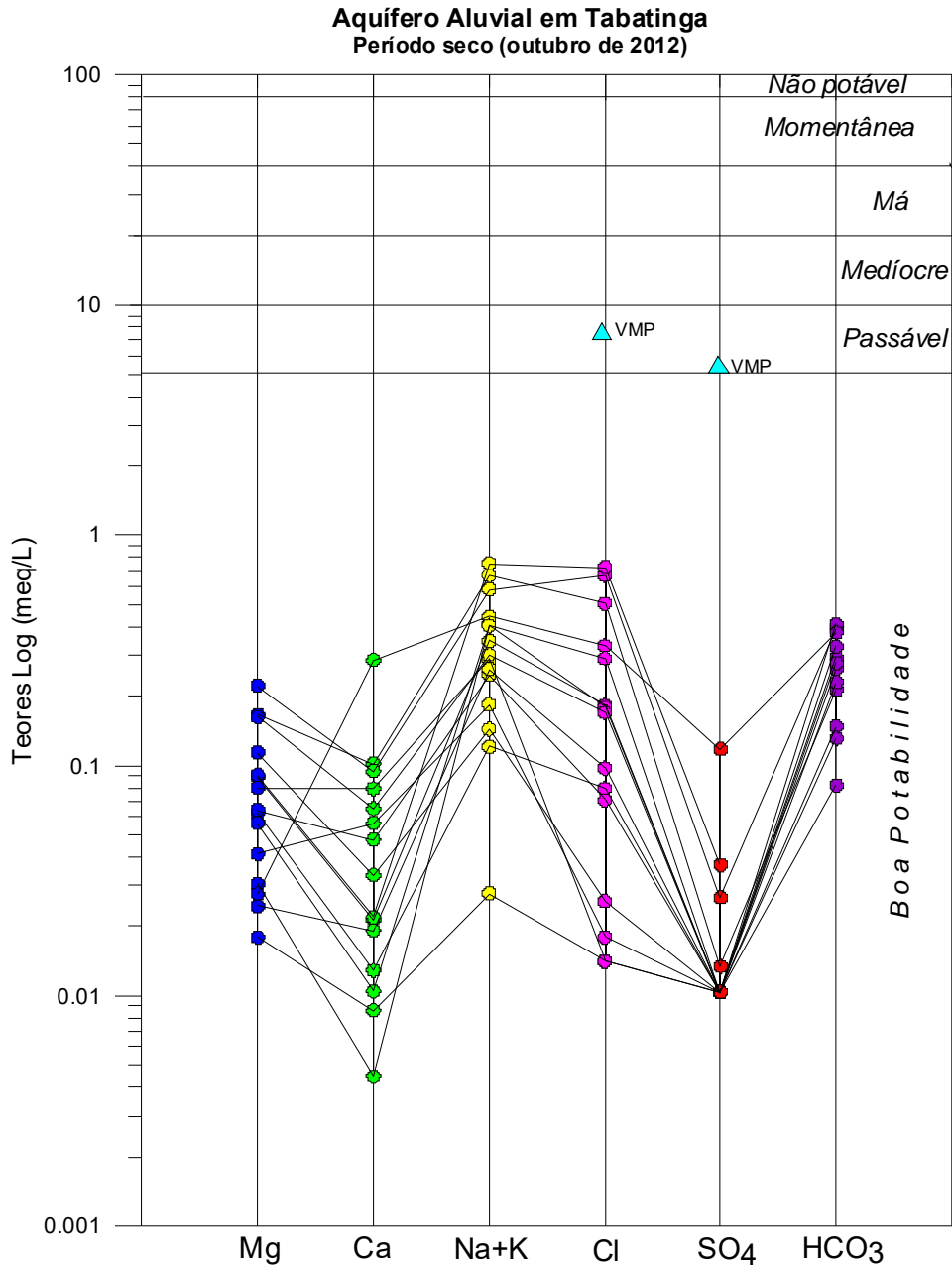


Figura 5.61 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

5.2.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga quanto ao uso na irrigação foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

Período chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas em abril de 2012 apresentaram risco de sódio baixo em 100% dos casos, ou seja, classificação S₁, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais, como pode ser observado na **figura 5.62**.

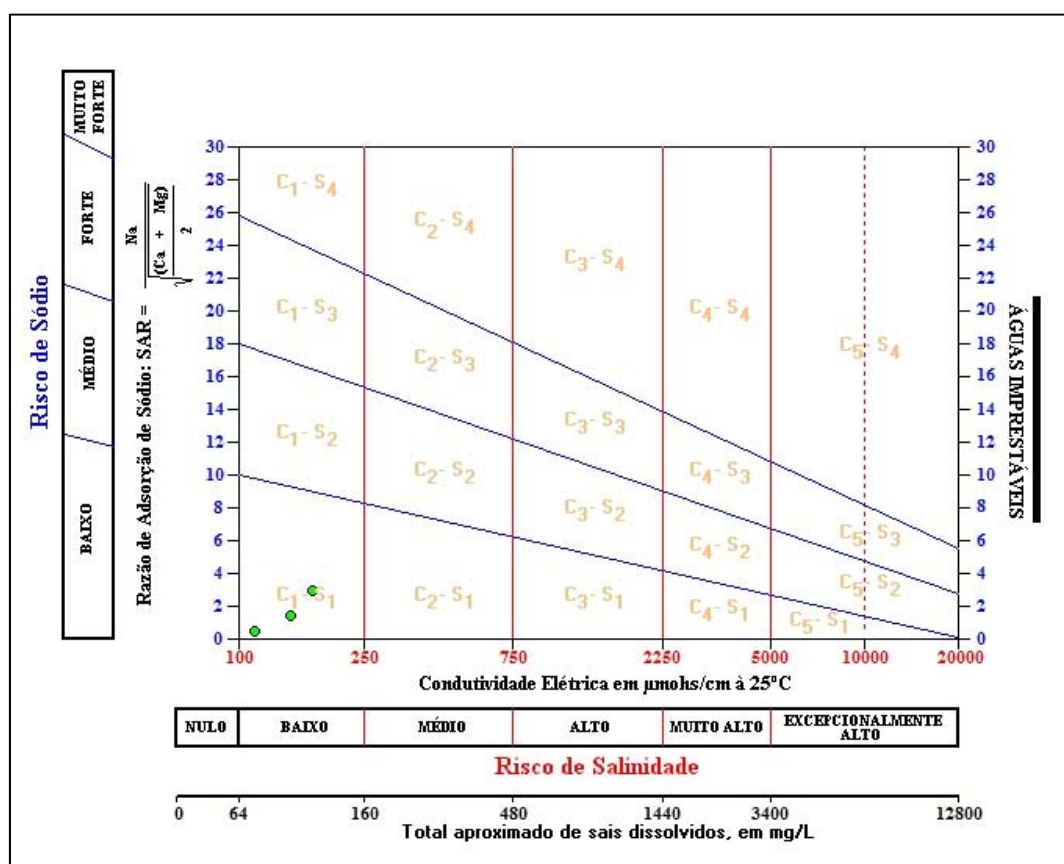


Figura 5.62 – Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga, para fins de irrigação – Abril de 2012.

Quanto à salinidade, as amostras de abril de 2012 apresentaram em 80% (12/15) dos casos a classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; enquanto que 20% (3/15) dos casos, classificação C₁, indicativa de que são águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca (**figura 5.62**).

Período de estiagem

Os resultados das amostras coletadas em outubro de 2012 revelaram que em 100% dos casos as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S₁, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais, como indica a **figura 5.63**.

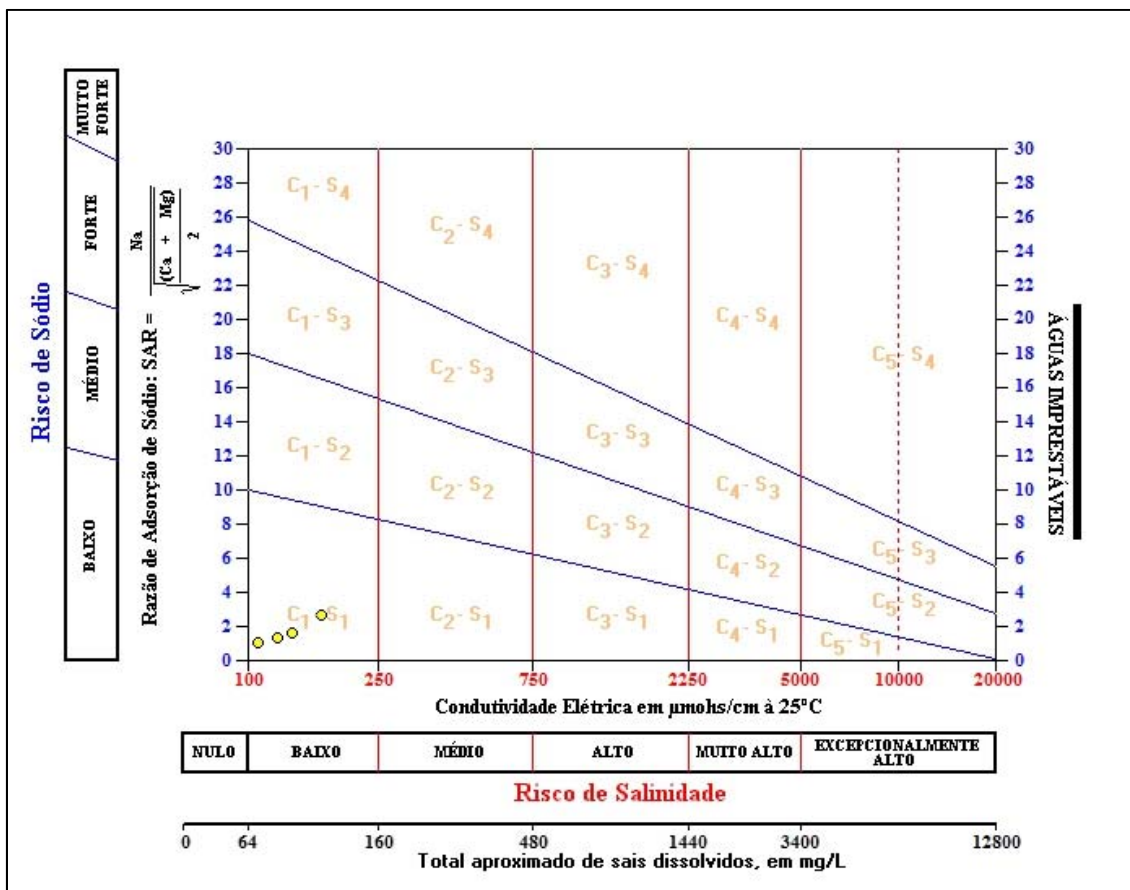


Figura 5.63 – Classificação das águas do aquífero Aluvial, em Tabatinga para fins de irrigação – Outubro de 2012.

Com relação à salinidade, as amostras de outubro de 2012, apresentaram em 73,3% (11/15) dos casos a classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; e em 26,7% (4/15) dos casos a classificação C₁, ou seja, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas.

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas propícias para fins de irrigação, em face dos baixos teores de salinidade e de risco de sódio, o que pode representar uma alternativa de fonte de renda para a população local (**tabela 5.71**).

Tabela 5.71 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e o risco de sódio, segundo USSL.

Nome	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
TBT01	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT02	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT03	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT04	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
TBT05	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT06	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT07	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
TBT08	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT09	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT10	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT11	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
TBT12	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
TBT13	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT14	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
TBT15	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo

5.2.18.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas nos quinze poços distribuídos pela área urbana de Tabatinga nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 5.72**.

Tabela 5.72 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima, é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 154 e 120 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

5.3 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do aquífero Aluvial, em Tabatinga

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica e que os valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como, os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, se devem em grande parte a fatores antrópicos.

Em vários parâmetros físico-químicos a modelagem geoestatística apresentou um viés estatístico que não permitiu avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade. Sendo assim, nos casos de turbidez, temperatura, potássio, dureza e amônia foram utilizados os dados de média e mediana para avaliar a influência da sazonalidade.

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos coletados em duas campanhas de amostragem, realizadas em abril e outubro de 2012 revelou efeito de sazonalidade sobre alguns parâmetros, tais como, turbidez, Eh, cálcio, cloreto, sulfato, dureza, nitrato, ferro e manganês, cujos teores foram mais elevados no período chuvoso, ao passo que os parâmetros CE, temperatura, STD, pH *in situ*, sódio, magnésio, potássio e bicarbonato apresentaram teores mais elevados no período de estiagem.

Além desses resultados, a análise estatística também revelou que alguns parâmetros não possuem influência da sazonalidade, ou seja, nas duas campanhas de amostragem os resultados se mostraram muito próximos, a exemplo, da cor, nitrito e amônia.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença de Coliformes totais nas duas campanhas, e de *E. Coli* apenas na primeira campanha. Isto sugere que está ocorrendo contaminação das águas subterrâneas devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria, são pouco profundos e construídos com técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Os altos teores de ferro e manganês encontrados nas águas do aquífero Aluvial se devem a reações de oxi-redução, que sucedem o intemperismo químico regional resultante da alta pluviosidade associada a elevadas temperaturas e acidez das águas, as quais favoreceram a decomposição das rochas ao longo do tempo geológico.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do aquífero Aluvial se caracterizam como ácidas, mas com uma leve tendência de aumento da acidez no período chuvoso, ao que tudo indica influência de infiltração oriunda da chuva, que possui pH ácido e conforme avaliação de Forti & Moreira-Nordemann (1991) variável na região de floresta de terra firme de 4 a 5,3 na região Amazônica.

As amostras analisadas dos metais pesados arsênio, cádmio, chumbo, cromo e mercúrio apresentaram teores abaixo do limite de detecção, ao passo que as de bário, cobre, níquel e zinco obtiveram teores abaixo do VMP definido pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

No que se refere às análises de BTEX e Fenóis todas as amostras respeitaram os limites de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

Os resultados dos isótopos ambientais revelaram que a recarga do aquífero Aluvial provém de águas meteóricas, de acordo com as análises de Oxigênio-18 e Deutério, ou seja, águas de chuva com 79% de perda de $\delta^{18}\text{O}$ por evaporação. Segundo as datações efetuadas com trício no aquífero Aluvial há mistura de água submoderna com recarga recente.

Quanto às idades convencionais de radiocarbono, há presença de águas modernas (105,2 pMC) com menos de 200 anos BP, o que sugere águas rasas.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que: segundo os diagramas de Piper, as águas do aquífero Aluvial são Cloretadas Sódicas; de acordo com os diagramas de Stiff, as águas são Cloretadas Sódicas e Bicarbonatadas Sódicas; e de boa potabilidade, conforme indicação dos diagramas de Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação verifica-se que as águas do aquífero Aluvial possuem risco de sódio baixo e salinidade que varia entre fraquíssima a fraca, indicando que as águas podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixíssimos.

5.4 – Vulnerabilidade Natural do aquífero Aluvial

A avaliação da vulnerabilidade de um aquífero é um tema relativamente complexo e depende do tratamento integrado de diferentes tipos de informação colhidos na área de estudo. Essa vulnerabilidade é função, principalmente, das condições geológicas e hidrogeológicas do próprio aquífero, além da topografia e do tipo de solo. Existem atualmente vários métodos para a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos. Alguns métodos foram idealizados para a determinação da vulnerabilidade de um aquífero a qualquer tipo de contaminante, ou seja, a vulnerabilidade geral, enquanto outros podem ser aplicados para se avaliar a vulnerabilidade de um aquífero a contaminantes específicos, tais como, resíduos industriais, resíduos sólidos urbanos, etc.

Por definição, vulnerabilidade é a sensibilidade da qualidade da água subterrânea ante uma carga contaminante imposta, determinada pelas características intrínsecas do aquífero e do seu recobrimento.

Na determinação da vulnerabilidade natural ou intrínseca dos aquíferos, os métodos mais utilizados são o DRASTIC (Aller *et al.*, 1985) e o GOD (Foster & Hirata, 1988).

5.4.1 – Método DRASTIC

Foi desenvolvido por Aller *et al.* (1985) para a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos. É um dos métodos mais usados, tanto para a avaliação qualitativa quanto para o mapeamento regional, sendo considerado um bom indicador de áreas que necessitam de avaliação hidrogeológica detalhada. Baseia-se na atribuição de pesos (variáveis de 1 a 5) e de índices de classe (variáveis de 1 a 10) de acordo com as características e o comportamento das variáveis consideradas no acrônimo DRASTIC:

D – *Depth of water* – profundidade da água freática

R – *Recharge (net)* – recarga

A – *Aquifer media* – litologia do aquífero

S – *Soil media* – tipo de solo

T – *Topography* – topografia

I – *Impact of vadose zone* – litologia da zona não saturada

C – *Conductivity hydraulic* – condutividade hidráulica

A combinação desses parâmetros é feita através de um sistema de atribuição de índices numéricos segundo duas categorias: pesos (de 1 a 5) e classes (de 1 a 10).

A cada um dos sete parâmetros propostos pelo método é atribuído um peso de acordo com a sua influência ou importância relativa à vulnerabilidade. Esses pesos variam de 1 (menor potencial de contaminação) a 5 (maior potencial de contaminação). O maior peso (5) é atribuído à profundidade da água (D) e ao impacto da zona não saturada (I) e o menor (1) à topografia (T). Quando se trata de pesticidas a atribuição dos pesos sofre ligeira modificação (**tabela 5.73**).

Tabela 5.73 – Ponderação dos parâmetros do método DRASTIC (Aller *et al.* 1987).

PARÂMETRO	SÍMBOLO	PESO	PESO PESTICIDA
Profundidade da água	D	5	5
Recarga	R	4	4
Meio aquífero	A	3	3
Solo	S	2	5
Topografia	T	1	3
Impacto da zona não saturada	I	5	4
Condutividade hidráulica	C	3	2

No sistema de atribuição de índices de classe, indicativos do potencial de contaminação da água subterrânea, as variáveis são classificadas de acordo com a sua natureza em intervalos numéricos (aplicáveis aos parâmetros D, R, T, C) conforme mostra a **tabela 5.74**, ou em tipos de solos e tipos de rochas (aplicáveis aos parâmetros A, S, I), como se vê na **tabela 5.75**.

Tabela 5.74 – Parâmetros classificados por faixa de variação numérica (D, R, T, C).

D		R		T		C	
PROFUNDIDADE (m)		RECARGA (mm/ano)		TOPOGRAFIA - DECLIVIDADE (m/km)		CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (m/d)	
Intervalo	classe	Intervalo	classe	Intervalo	classe	Intervalo	Classe
0 – 1,5	10	0 – 50	1	0 -20	10	0,04 – 4	1
1,5 – 5	9	50 – 100	3	20 – 60	9	4 – 12	2
5 – 10	7	100 – 180	6	60 – 120	5	12 – 28	4
10 – 15	5	180 – 250	8	120 – 180	3	28 – 40	6
15 – 23	3	> 250	9	> 180	1	40 – 80	8
23 – 30	2					> 80	10
> 30	1						

O resultado final indicativo da vulnerabilidade de cada domínio hidrogeológico ou área geográfica é um valor numérico compreendido entre 23 e 230, obtido usando a **equação 5.3**:

$$\text{ÍNDICE DRASTIC} = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c \quad (5.3)$$

O subscrito *p* se refere ao “peso” da variável (**tabela 5.73**), enquanto que o subscrito *c* é indicativo da “classe” da variável (**tabelas 5.74 e 5.75**).

Tabela 5.75 – Parâmetros classificados por tipo de solo ou tipo de rocha (A, S, I).

A			S		I		
MEIO AQUÍFERO			SOLO		MATERIAL DA ZONA NÃO SATURADA		
Tipo de rocha	Classe	Classe típica	Tipo de solo	Classe	Tipo de rocha	Classe	Classe típica
Argila compacta	1 – 3	2	Delgado ou ausente	10	Camada confinante	1	1
Metamórfica/ígnea	2 – 5	3	Cascalho	10	Silte/argila	2 – 6	3
Metamórfica/ ígnea alterada	3 – 5	4	Areia	9	Argilito	2 – 5	3
Tilito	4 – 6	5	Turfa	8	Calcário	2 – 7	6
Intercalações de arenitos, calcários e argilitos	5 – 9	6	Argila expansiva e/ou agregada	7	Arenito	4 – 8	6
Arenito compacto	4 – 9	6	Franco arenoso	6	Intercalações de argilito, calcário, arenito	4 – 8	6
Calcário compacto	4 – 9	8	Franco	5	Areia e cascalho com bastante silte e argila	4 – 8	6
Areia e cascalho	4 - 9	8	Franco siltoso	4	Metamórfica/ígnea	2 – 8	4
Basalto	2 – 10	9	Franco argiloso	3	Areia e cascalho	6 – 9	8
Calcário cárstico	9 - 10	10	Lama, lodo, vasa	2	Basalto	2 – 10	9
			Argila não expansiva e/ou não agregada	1	Carste	8 - 10	10

De acordo com o valor do índice DRASTIC a vulnerabilidade do meio aquífero pode ser classificada em:

<23	23-119	120-149	150-179	180-230
DESPREZÍVEL	BAIXA	MODERADA	ALTA	EXTREMA

Nos mapas as cores correspondentes a esses graus de vulnerabilidade são definidas de maneira a chamar a atenção para as áreas em vermelho.

O índice DRASTIC estimado para o aquífero Aluvial, em ambos os períodos de amostragem, assim como, todos os pesos e índices das classes utilizados podem ser verificados na **tabela 5.76**.

Os índices encontrados no período chuvoso (125 a 135) permitem classificar a vulnerabilidade do aquífero Aluvial, em Tabatinga como **moderada**, e no período de estiagem (115 a 135), como **baixa** a **moderada**, como pode ser observado nas **figuras 5.64a** e **5.64b**.

Descrição do Cálculo do Índice DRASTIC

O cálculo do índice DRASTIC é feito usando a **equação (5.3)**:

$$\text{ÍNDICE DRASTIC} = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c \quad (5.3)$$

Como se pode observar, a **equação 5.3** é dada pela soma dos 7 (sete) produtos dos termos correspondentes a cada um dos 7 (sete) símbolos ou letras que compõem o acrônimo DRASTIC. Para cada produto (por exemplo, $D_p D_c$). A letra contém um subscrito p (obtido da coluna **peso** ou da coluna **peso pesticida**, conforme for o caso, na **tabela 5.73**) e um subscrito c (obtido da coluna **classe**, conforme mostrado nas **tabelas 5.74 e 5.75**).

No caso de Tabatinga, para as 7 (sete) diferentes letras, os pesos e as classes selecionadas foram:

- D → independente de efeito pesticida, o valor de D_p , ou seja, do peso da profundidade da água é igual a 5, conforme **tabela 5.73**. O valor de D_c , ou seja, da classe da profundidade da água é selecionado verificando, na respectiva coluna **intervalo** da **tabela 5.74**, em qual dos intervalos se encontra a profundidade medida do nível estático de cada poço, na primeira e na segunda campanha e daí anotando o valor da classe correspondente. Por exemplo, para uma profundidade no intervalo de 1,5 a 5 m, $D_c = 9$. Assim sendo, o produto $D_p D_c = 5 \times 9 = 45$ como pode ser observado na **tabela 5.76**, para as profundidades do nível da água situadas nessa faixa.
- R → independente de efeito pesticida, o valor de R_p , ou seja, do peso da recarga é igual a 4, conforme **tabela 5.73**. O valor de R_c , ou seja, da classe da recarga é selecionado verificando na respectiva coluna **intervalo** da **tabela 5.74**, em qual dos intervalos se encontra a recarga estimada e daí anotando o valor da classe correspondente. Por exemplo, a recarga estimada foi de 201 mm/ano e, portanto, esse valor se encontra no intervalo de 180 a 250 mm/ano, que corresponde à classe $R_c = 6$. Assim sendo o produto $R_p R_c = 4 \times 6 = 24$, como pode ser observado na **tabela 5.76**.
- A → independente de efeito pesticida, o valor de A_p , ou seja, do peso do meio aquífero, é igual a 3, conforme **tabela 5.73**. O valor de A_c , ou seja, da classe do meio aquífero é selecionado verificando na respectiva coluna **tipo de rocha** da **tabela 5.75**, em qual dos tipos se enquadra a litologia da região e daí anotando o valor da classe correspondente. Por exemplo, em Tabatinga a litologia do aquífero é caracterizada por areias e arenitos inconsolidados que se enquadram nas classes de 4 a 9 e correspondem à classe típica $A_c = 8$. Assim sendo o produto $A_p A_c = 3 \times 8 = 24$, como pode ser observado na **tabela 5.76**.

- S → O valor de S_p , ou seja, do peso do solo depende do efeito pesticida, que quando presente é igual a 5 e no caso de Tabatinga não existe e por isso é igual a 2, conforme **tabela 5.73**. O valor de S_c , ou seja, da classe do solo é selecionado verificando na respectiva coluna **tipo de solo** da **tabela 5.75**, em qual dos tipos se enquadra o solo da região e daí anotando o valor da classe correspondente. Por exemplo, em Tabatinga o solo pode ser considerado franco argiloso que se enquadra na classe $S_c=3$. Assim sendo o produto $S_p S_c = 2 \times 3 = 6$, como pode ser observado na **tabela 5.76**.
- T → O valor de T_p , ou seja, do peso da topografia depende do efeito pesticida, que quando presente é igual a 3 e no caso de Tabatinga não existe e por isso é igual a 1, conforme **tabela 5.73**. O valor de T_c , ou seja, da classe da topografia (declividade em m/km) é selecionado verificando na respectiva coluna **intervalo** da **tabela 5.74**, em qual dos intervalos se encontra a declividade estimada e daí anotando o valor da classe correspondente. Por exemplo, a declividade geral em Tabatinga foi enquadrada na faixa de 0 a 20 m/km, que corresponde à classe $T_c=10$. Assim sendo o produto $T_p T_c = 1 \times 10 = 10$, como pode ser observado na **tabela 5.76**.
- I → O valor de I_p , ou seja, do peso do impacto da zona não saturada depende do efeito pesticida, que quando presente é igual a 4 e no caso de Tabatinga não existe e por isso é igual a 5, conforme **tabela 5.73**. O valor de I_c , ou seja, da classe do impacto da zona não saturada é selecionado verificando na respectiva coluna **tipo de rocha** da **tabela 5.75**, em qual dos tipos se enquadra a litologia da região e daí anotando o valor da classe correspondente. Por exemplo, em Tabatinga a litologia da zona não saturada é caracterizada por ocorrência de bastante silte e argila, que se enquadram nas classes de 2 a 6 além de argilito, que se enquadra nas classes 2 a 5 e correspondem à classe típica $I_c = 3$. Assim sendo o produto $I_p I_c = 5 \times 3 = 15$, como pode ser observado na **tabela 5.76**.
- C → O valor de C_p , ou seja, do peso da condutividade hidráulica depende do efeito pesticida, que quando presente é igual a 2 e no caso de Tabatinga não existe e por isso é igual a 3, conforme **tabela 5.73**. O valor de C_c , ou seja, da classe da condutividade hidráulica é selecionado verificando na respectiva coluna **intervalo** da **tabela 5.74**, em qual dos intervalos se encontra a condutividade hidráulica estimada e daí anotando o valor da classe correspondente. Por exemplo, a condutividade hidráulica estimada (0,76 m/dia) se encontra no intervalo

de 0,04 a 4 m/dia, que corresponde à classe $C_c = 1$. Assim sendo o produto $C_\rho C_c = 3 \times 1 = 3$, como pode ser observado na **tabela 5.76**.

Tabela 5.76 – Parâmetros para avaliação do Índice de Vulnerabilidade DRASTIC do aquífero Aluvial, em Tabatinga – AM.

Poço	UTM (E)	UTM (N)	Cota (m)	Profundidade do nível d'água (m)		Pesos x Índices de classe								Índice DRASTIC	
				Abril de 2012	Outubro de 2012	5xD1	5xD2	4xR	3xA	2xS	1xT	5xl	3xC	Abril de 2012	Outubro de 2012
TBT01	396667	9533479	79	3,35	3,7	45	45	32	24	6	10	15	3	135	135
TBT02	397061	9533283	81	4,34	5,2	45	35	32	24	6	10	15	3	135	125
TBT03	397406	9532402	81	1,69	3,97	45	45	32	24	6	10	15	3	135	135
TBT04	395588	9531249	78	6,87	9,68	35	35	32	24	6	10	15	3	125	125
TBT05	396142	9531711	80	5,48	5,96	35	35	32	24	6	10	15	3	125	125
TBT06	395341	9531863	78	6,9	12,21	35	25	32	24	6	10	15	3	125	115
TBT07	395618	9532386	79	4,49	8,04	45	35	32	24	6	10	15	3	135	125
TBT08	397018	9531535	79	3,77	3,89	45	45	32	24	6	10	15	3	135	135
TBT09	396973	9532743	79	3,57	3,65	45	45	32	24	6	10	15	3	135	135
TBT10	397007	9531927	79	3,26	3,72	45	45	32	24	6	10	15	3	135	135
TBT11	395949	9533177	78	6,23	7,63	35	35	32	24	6	10	15	3	125	125
TBT12	396018	9532724	80	4,87	5,85	45	35	32	24	6	10	15	3	135	125
TBT13	395290	9529568	79	5,94	7,46	35	35	32	24	6	10	15	3	125	125
TBT14	395835	9530605	80	3,26	6,28	45	35	32	24	6	10	15	3	135	125
TBT15	395978	9532062	80	6,78	7,78	35	35	32	24	6	10	15	3	125	125

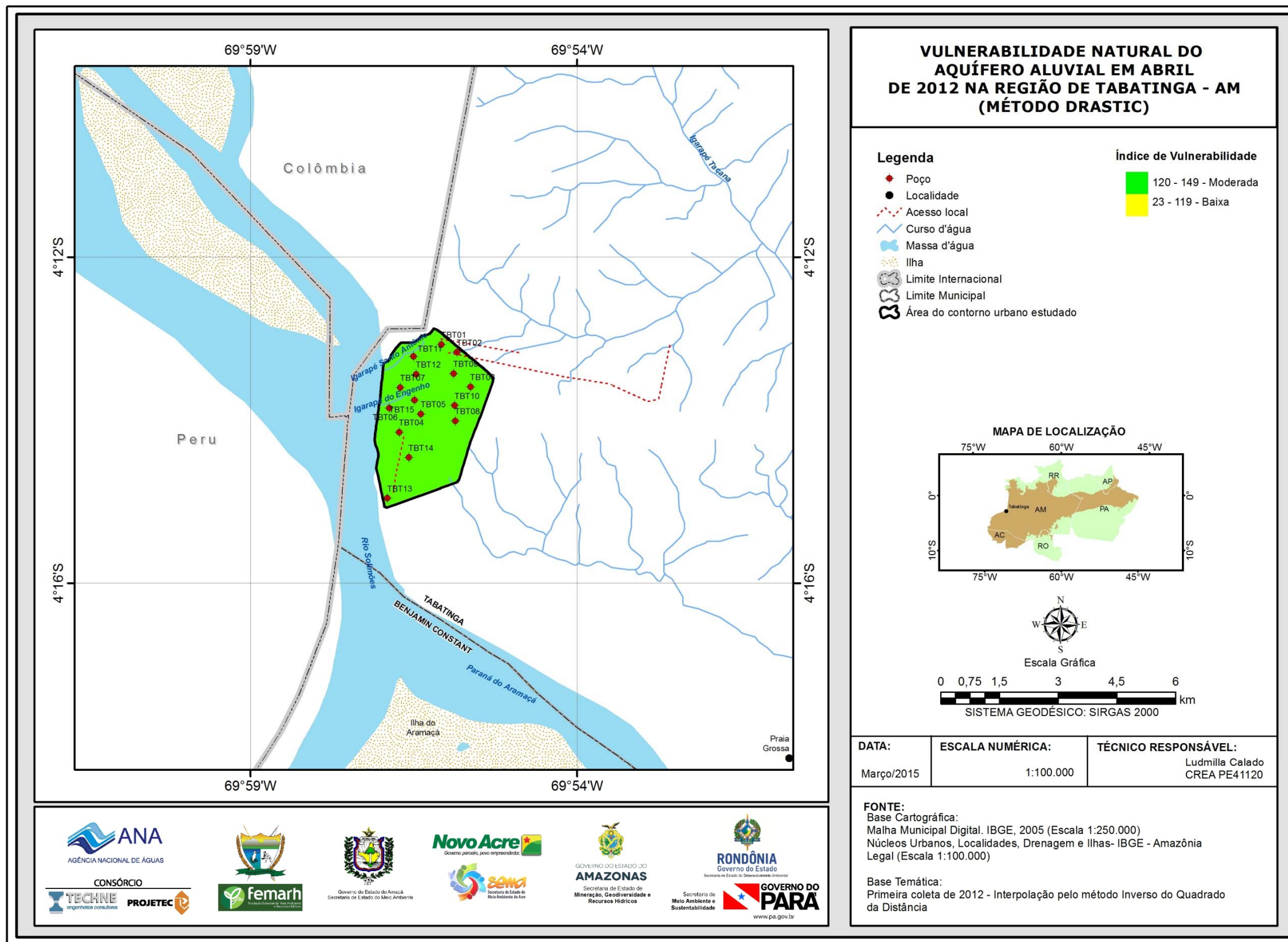


Figura 5.64a – Zoneamento da vulnerabilidade do aquífero Aluvial na zona urbana de Tabatinga, na coleta de abril de 2012 – Método DRASTIC.

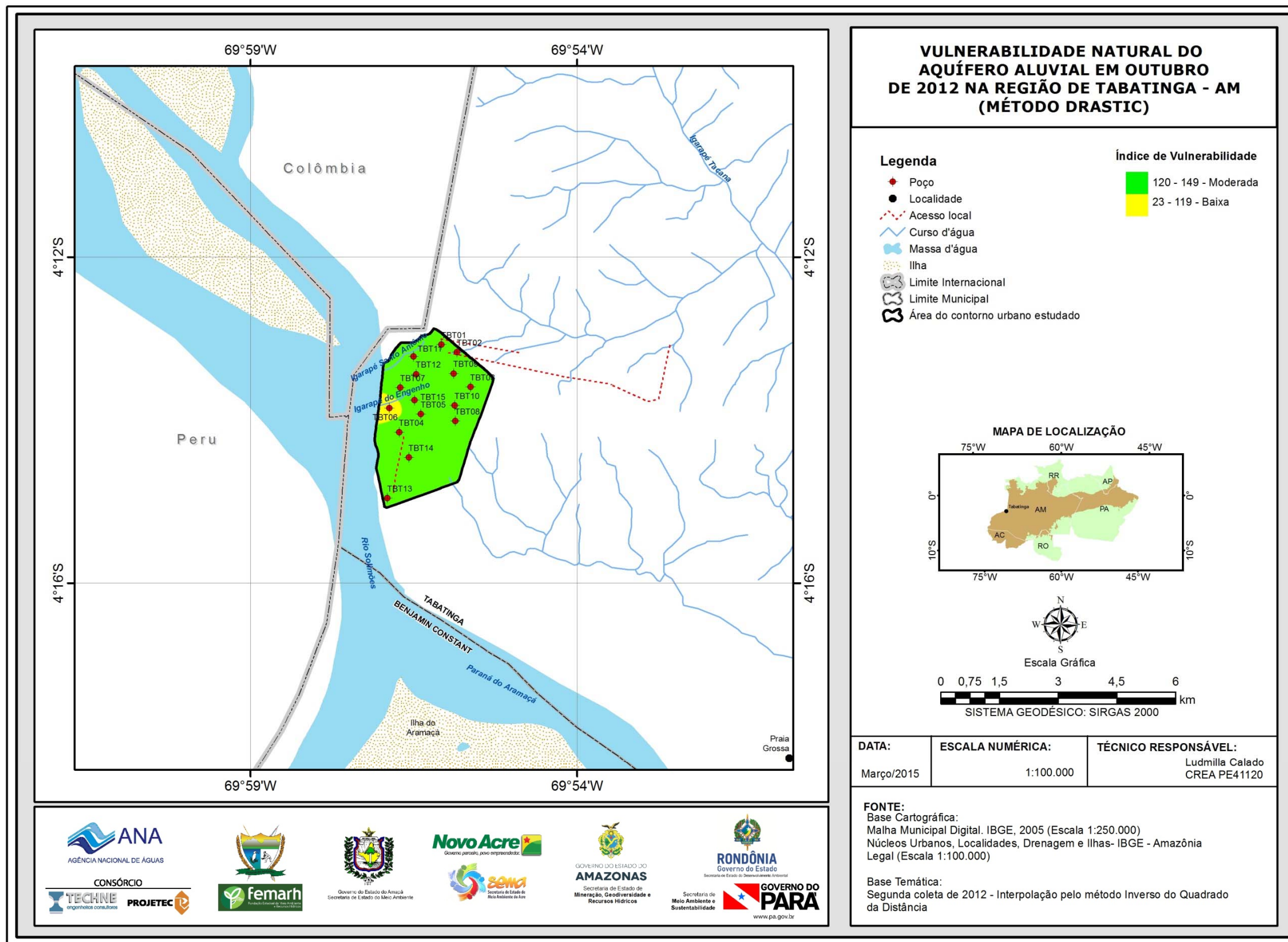


Figura 5.64b – Zoneamento da vulnerabilidade do aquífero Aluvial na zona urbana de Tabatinga, na coleta de outubro de 2012 – Método DRASTIC.

5.4.2 – Método GOD

Outro método mais simples e mais adequado para estudos de reconhecimento e avaliações regionais é o GOD (Foster & Hirata, 1988), que utiliza como parâmetros para a avaliação da vulnerabilidade apenas três características envolvendo o aquífero e seu recobrimento (**figura 5.65**): **G** *Groundwater occurrence* – Tipo de aquífero; **O** *Overall Aquifer Class* – Litologia do aquífero; e **D** *Depth* – Profundidade da água do aquífero.

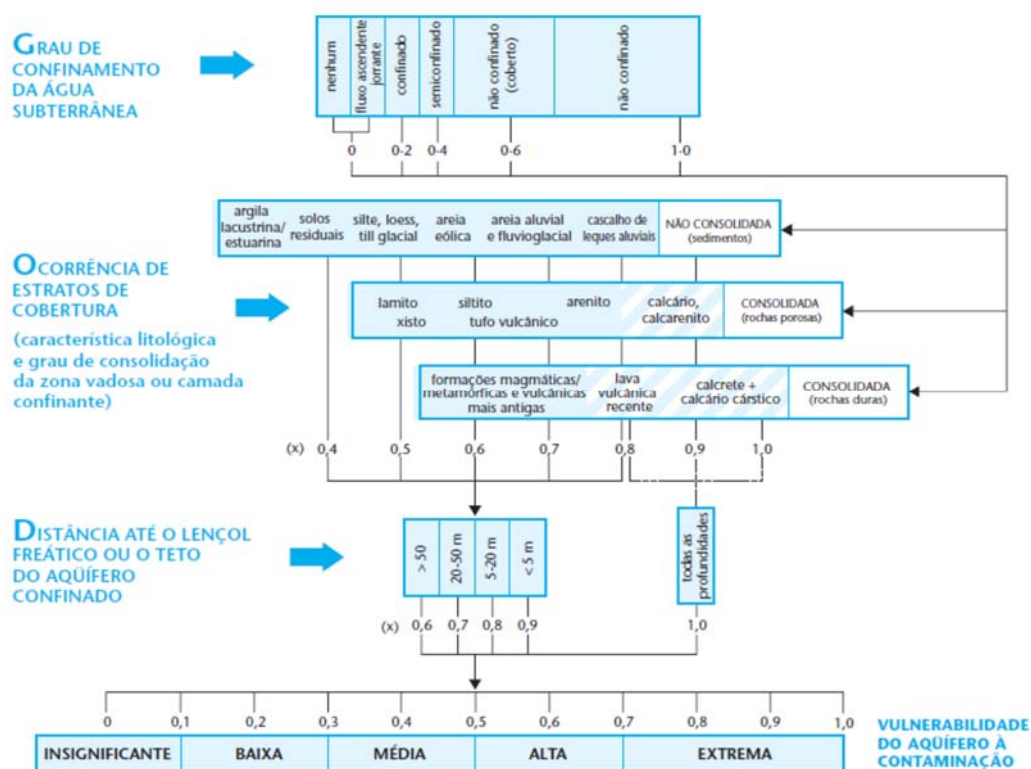


Figura 5.65 – Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação (Foster & Hirata, 1988).

O procedimento recomendado pelo método GOD para a estimativa da vulnerabilidade natural de um aquífero à contaminação envolve três estágios distintos:

- Primeiro: avaliar o parâmetro **G** com base na condição hidráulica da água subterrânea, ou seja, de acordo com o tipo de aquífero (**tabela 5.77**).
- Segundo: avaliar o parâmetro **O** de acordo com a ocorrência dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero e natureza da sua litologia, conforme **tabela 5.78**.
- Terceiro: estimar o parâmetro **D** considerando a profundidade até a superfície freática (**tabela 5.79**).

Tabela 5.77 – Valores para o parâmetro G do índice GOD (Foster, 1987).

Parâmetro G (ocorrência de águas subterrâneas)	Valor
Nenhum	0,0
Confinado artesianosurgente (não drenante)	0,1
Confinado não surgente (não drenante)	0,2
Confinado drenante coberto (semi-confinado)	0,3
Confinado drenante (semi-confinado)	0,4
Não confinado coberto (freático)	0,6
Não confinado (freático)	1

Tabela 5.78 – Valores para o parâmetro O do índice GOD (Foster, 1987).

Parâmetro O (Classificação do material sobre o aquífero)	Valor
Rochas não consolidadas	
Solos residuais (argila, argila siltosa, silte argiloso)	0,4
Aluviões siltosos	0,5
Areias eólicas	0,6
Areias e cascalheiras aluvionares e fluviais	0,7
Cascalheiras coluvionares	0,8
Rochas consolidadas (Rochas Porosas)	
Argilitos	0,5
Siltitos	0,5
Tufos vulcânicos	0,7
Arenitos	0,8
Calcários e calcarenitos	0,9
Rochas consolidadas (Rochas Duras)	
Xistos	0,5
Formações ígneas/metamórficas	0,6
Lavas vulcânicas recentes	0,8
Outros calcários	1,0

Tabela 5.79 – Valores para o parâmetro D do índice GOD (Foster, 1987).

Parâmetro D (Profundidade da água subterrânea)	Valor
> 50 m	0,6
20-50 m	0,7
5-20 m	0,8
< 5 m	0,9

Descrição do Cálculo do Índice GOD

O cálculo do índice GOD é feito usando a **equação (5.4)**:

$$\text{INDICE GOD} = G \times O \times D \quad (5.4)$$

No caso de Tabatinga, para as 3 (três) diferentes letras ou símbolos do acrônimo GOD, os valores a elas relacionados, foram:

- G → O aquífero Aluvial é do tipo livre (não confinado ou freático), o que indica, conforme a **tabela 5.77**, para esse parâmetro o valor $G = 1$.
- O → A litologia do aquífero é representada por aluviões siltsos, o que permite selecionar da **tabela 5.78** o valor $O = 0,5$.

- D→ Com o valor da profundidade do nível de água do aquífero Aluvial, medido nas campanhas de campo, se pode seleccionar na **tabela 5.79**, o respectivo intervalo e nele o valor de D correspondente. Por exemplo, para uma profundidade no intervalo de 5 a 20 m, o valor $D=0,8$. No caso de Tabatinga, o parâmetro D variou entre 0,9 (níveis estáticos < 5 m) e 0,8 (níveis estáticos ≥ 5 e níveis estáticos < 20 m).

O resultado do produto destes três parâmetros em termos qualitativos define o índice de vulnerabilidade, segundo a **tabela 5.80** em: extrema, alta, média, baixa e insignificante.

Vulnerabilidade baixa - significa que o aquífero é vulnerável a apenas compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes organo-sintéticos.

Vulnerabilidade média – o aquífero é susceptível a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hidrocarbonetos halogenados ou não e alguns metais pesados. Sais menos solúveis são também incluídos nesse grupo.

Vulnerabilidade alta - indica aquífero vulnerável a muitos contaminantes exceto aqueles que são muito absorvíveis e/ou facilmente transformáveis.

Vulnerabilidade extrema - aplicável ao aquífero que possui sensibilidade para contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus, sendo vulnerável a maioria dos contaminantes da água com um impacto relativamente rápido em muitos cenários de poluição.

Tabela 5.80 – Índices GOD e classes de vulnerabilidade.

Índice GOD	Grau de vulnerabilidade
0,7 -1,0	Extrema
0,5 – 0,7	Alta
0,3 – 0,5	Média
0,1 – 0,3	Baixa
0,0 – 0,1	Insignificante

O índice de vulnerabilidade natural do aquífero Aluvial, dado pelo produto dos três parâmetros nas duas campanhas de amostragem, variou de 0,4 a 0,45 (**tabela 5.81**), o que se caracteriza como vulnerabilidade média, de acordo com os critérios estabelecidos no método GOD apresentado na **figura 5.65**.

Tabela 5.81 - Parâmetros para avaliação do Índice de Vulnerabilidade GOD do aquífero Aluvial, em Tabatinga - AM.

Poço	UTM (E)	UTM (N)	Cota (m)	Profundidade do nível d'água (m)		Índices					
				NE-1	NE-2	G	O	D (IV1)	D (IV2)	IV1	IV2
TBT01	396667	9533479	79	3,35	3,70	1	0,5	0,9	0,9	0,45	0,45
TBT02	397061	9533283	81	4,34	5,20	1	0,5	0,9	0,8	0,45	0,40
TBT03	397406	9532402	81	3,97	1,69	1	0,5	0,9	0,9	0,45	0,45
TBT04	395588	9531249	78	6,87	9,68	1	0,5	0,8	0,8	0,40	0,40
TBT05	396142	9531711	80	5,48	5,96	1	0,5	0,8	0,8	0,40	0,40
TBT06	395341	9531863	78	6,90	12,21	1	0,5	0,8	0,8	0,40	0,40
TBT07	395618	9532386	79	4,49	8,04	1	0,5	0,9	0,8	0,45	0,40
TBT08	397018	9531535	79	3,77	3,89	1	0,5	0,9	0,9	0,45	0,45
TBT09	396973	9532743	79	3,57	3,65	1	0,5	0,9	0,9	0,45	0,45
TBT10	397007	9531927	79	3,26	3,72	1	0,5	0,9	0,9	0,45	0,45
TBT11	395949	9533177	78	6,23	7,63	1	0,5	0,8	0,8	0,40	0,40
TBT12	396018	9532724	80	4,87	5,85	1	0,5	0,9	0,8	0,45	0,40
TBT13	395290	9529568	79	5,94	7,46	1	0,5	0,8	0,8	0,40	0,40
TBT14	395835	9530605	80	3,26	6,28	1	0,5	0,9	0,8	0,45	0,40
TBT15	395978	9532062	80	7,78	6,78	1	0,5	0,8	0,8	0,40	0,40

Zoneamento da Vulnerabilidade do aquífero Aluvial – Método GOD

A distribuição espacial da vulnerabilidade natural do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga pode ser visualizada nas **figuras 5.66a e 5.66b**, respectivamente para os períodos de chuva (abril de 2012) e de estiagem (outubro de 2012). De acordo com os resultados, tanto no período chuvoso como no de estiagem, verifica-se a ocorrência de índices de **vulnerabilidade média**, que variam de 0,4 a 0,45 na área de estudo.

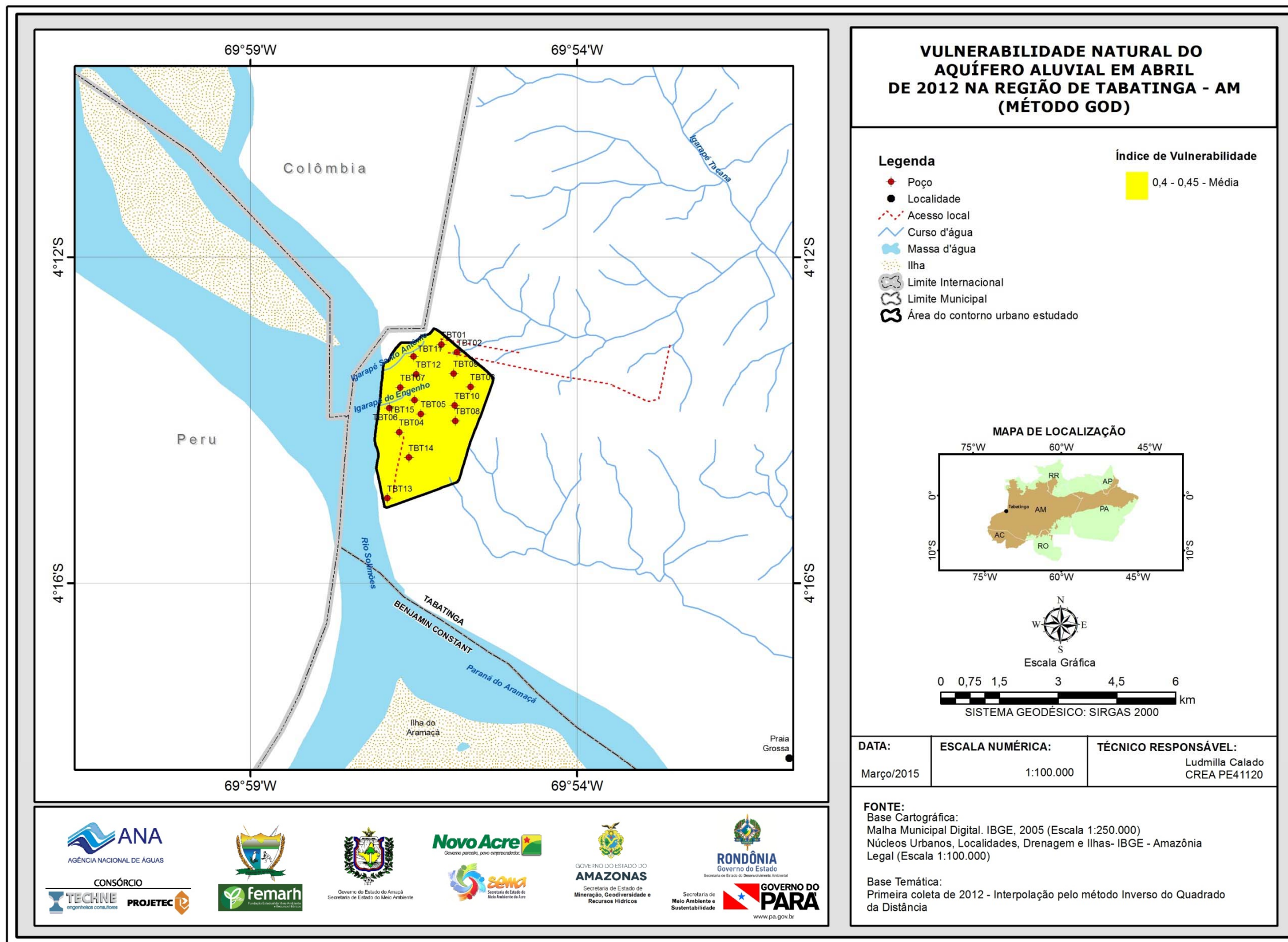


Figura 5.66a – Zoneamento da vulnerabilidade do aquífero Aluvial na zona urbana de Tabatinga na coleta de abril de 2012 - Método GOD.

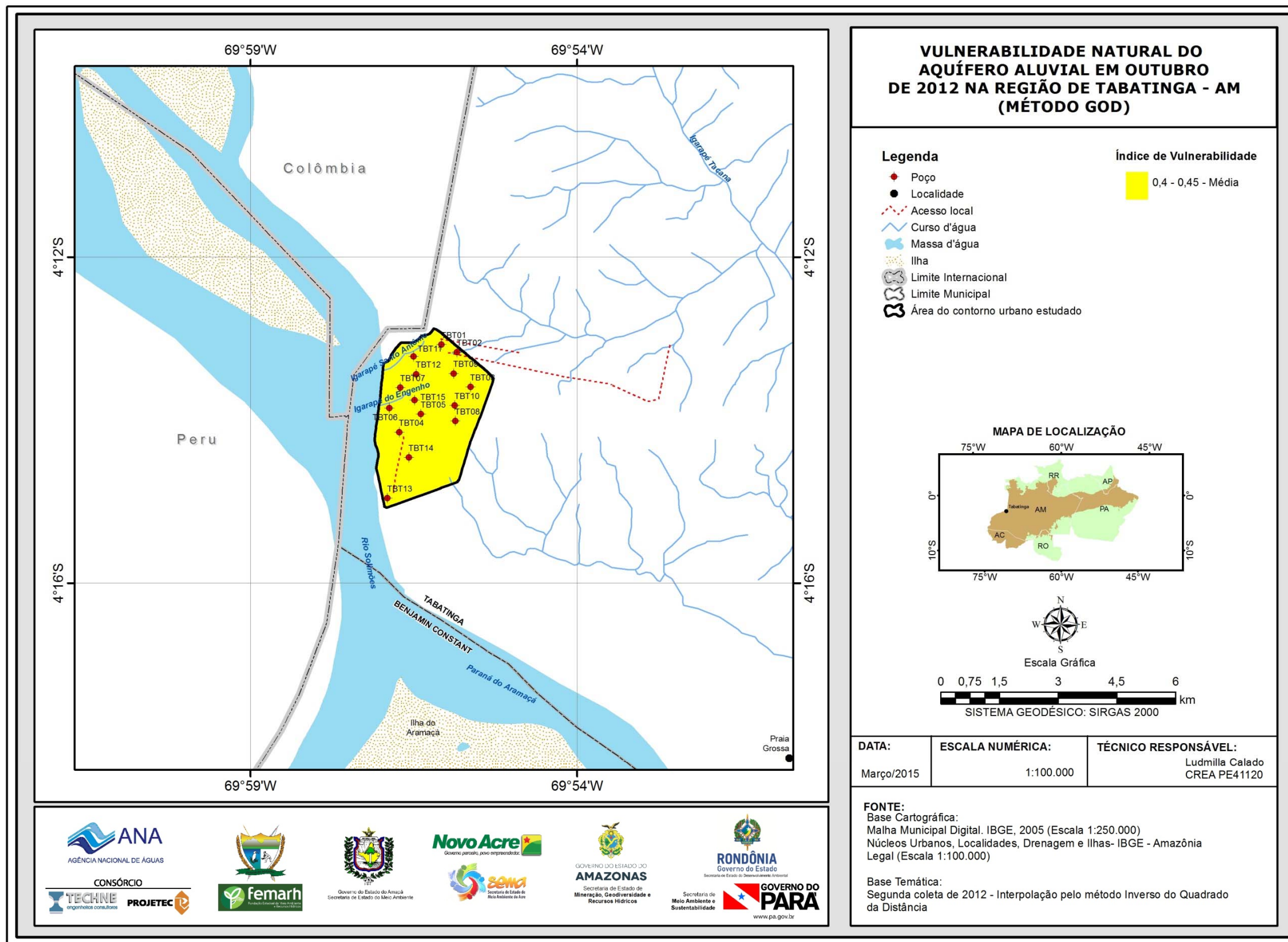


Figura 5.66b – Zoneamento da vulnerabilidade do aquífero Aluvial na cidade de Tabatinga na coleta de outubro de 2012 - Método GOD.

Conclusão sobre a vulnerabilidade natural

No período chuvoso os índices de vulnerabilidade do método DRASTIC sugerem para o aquífero Aluvial uma **vulnerabilidade moderada** em 100% (15/15) dos poços. No período de estiagem, a vulnerabilidade varia de **baixa a moderada**, respectivamente em 7% (1/15) e 93% (14/15) dos poços.

Pelo método GOD, em ambas as coletas, os índices de vulnerabilidade obtidos se mantiveram na faixa de 0,4 a 0,45, o que permitiu classificar a vulnerabilidade do aquífero Aluvial na área de estudo como **média**.

Tudo indica, no caso do aquífero Aluvial, que essa classificação se justifica em face da presença de uma camada de silte e argila na parte superior. Não obstante, o risco de contaminação é alto devido à presença de poços tubulares rasos construídos sem a devida proteção sanitária. Além disso, a área de estudo está localizada em região bastante urbanizada, desprovida de esgotamento sanitário e ausente de planejamento quanto ao uso e ocupação do solo, fatores que contribuem para o aumento da carga contaminante local, o que requer medidas de gestão de modo a preservar esse manancial para as gerações futuras.

6 – Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Disponibilidade Hídrica**. Brasília: ANA, 2013. 65p.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, vol. 32, n. 2, p.160-165, 1998.

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J. Drastic: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. **United States Environmental Protection Agency (EPA)**, USA, 600/2-85/018, 1985.

ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RODRIGUES, D. F. B. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.16, nº5, p.496-504, 2012.

APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. **Geochemistry, groundwater and pollution**. USA: CRC Press, 1993, 536p.

AZEVEDO, R. P. Aspectos sobre o uso da água subterrânea na fronteira Brasil-Colômbia: o caso da cidade de Tabatinga no Estado do Amazonas. In: XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006, Punta del Este - Uruguay. **Anais**. AIDIS: Punta del Este, 2006.

BARCELONA, M. J.; GIBB, J. P.; HELFRICH, J. A.; Garske, E. E. Practical Guide for Ground-Water Sampling. **Illinois State Water Survey Champaign**, Illinois - USA, 1985.

BATU, V. **Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis**. USA: John Wiley & Sons, 1998. 752p.

BOHN, H. L. Redox potentials. *Soil Science*, vol. 112, nº 1, p.39-45, 1970.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008**. Brasília, DF, Diário oficial da União nº 66, de 07 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

BRASIL. Ministério da Saúde - MS. **Portaria MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Brasília, DF, Diário oficial da União nº 239, de 14 de dezembro de 2011, Seção 1, páginas 39-46.

BRITO, F. V.; OLIVEIRA, A. S.; NEVES, H. C.; AZEVEDO, J. A. T.; BHERING, D. L.; REIS, S. M.; MACHADO, M. C. S.; AZEVEDO, G. C.; CARVALHAES, G. K. Estudo da Contaminação de Águas Subterrâneas por BTEX oriundas de postos de distribuição no Brasil. In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005, Salvador – BA. **Anais**. Salvador: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP) e UNIFACS, 2005.

CAMPOS, T. S.; ROHLFS, D. B. Avaliação dos valores de nitrato em águas subterrâneas e sua correlação com atividades antrópicas no município de Águas Lindas de Goiás. In: V Mostra de Produção Científica da Pós-Graduação Lato Sensu da PUC Goiás, 2010, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: PUC, 2010.

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Revista Geografia**, Londrina, vol. 8, n. 1, p. 91-97, 1999.

CLARK, I.; FRITZ, P. **Environmental Isotopes in hydrogeology**. USA: Lewis Publishers, 1997. 328p.

COLVARA, J. G.; LIMA, A. S.; SILVA, W. P. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, II SSA, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Manganês**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Fenol**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Níquel e seus compostos**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo - Série Relatórios - Apêndice A: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2009. 43p.

COOPER, H. H. Jr.; JACOB, C. E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field story. **Transactions Am. Geophysical Union**, USA, vol. 27, p.526-534, 1946.

CRAIG, H. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science, New Series*, vol. 133, nº 3465, p.1702-1703, 1961.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterránea**. Madrid: Omega, vol. 2, 1983. 2359p.

DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB. Geostatistical Software Library and User's Guide**. Oxford University Press, 1998. 1 CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306p.

FAZZIO, A. L.; SILVA, F. V.; XAVIER, H. V. S.; FERREIRA, I. V. L.; FREIRE, C. C. Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas na Cidade de Maceió. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande - MS. **Anais**. Campo Grande: ABAS, 2009. p.1-18.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM-UFPE, 2000. 391p. 2ª Edição.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM – LABHID, 2008. 812p. 3ª Edição.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação. 1999. 212p. **Tese de Doutorado em Computação Aplicada** - INPE, São José dos Campos, 1999.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. New York: Prentice Hall, 1994. 691p.

FORTI, M.C.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Rainwater and throughfall chemistry in a “terra firme” rain forest: Central Amazonia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, vol. 96, p. 7415-7421, 1991.

FOSTER, S. S. D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: VAN DUIJVANBOODEN, W.; VAN WAEGENINGH, H. G. (Eds.). **Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information**. Nº. 38 of the International Conference held in the Netherlands, in 1987, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. Lima: Pan American center for sanitary engineering and environmental sciences (CEPIS), 1988. 88 p.

FREEZE, R. A.; Cherry, J. A. **Groundwater**. USA: Prentice Hall, 1979. 604p.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Software Qualigraf**, 2010.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Perfis dos poços tubulares das aldeias indígenas de Umariáçu I e II em Tabatinga - AM**. Ministério da Saúde: Manaus, 2001.

GOOVAERTS, P. **Applied Geostatistics Series: Geostatistics for Natural Resources Evaluation**. New York: Oxford, 1997. 489p.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. **Anuário estatístico do Amazonas: 2012**. Manaus: SEPLAN, 2013. 607p.

HEM, J. D. Restraints on dissolved ferrous iron imposed by bicarbonate, redox potential, and pH. **U.S. Geological Survey Water-Supply Paper**, 1459-B, p.33-55, 1960.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. USA: U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 2254, 1985. 248p.

HONÓRIO, B.A.D.; HORBE, A.M.C; SEYLER, P. Chemical composition of rainwater inwestern Amazonia–Brazil.**Atmospheric Research**, vol.98, p.416-425, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 maio 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manuais Técnicos em Geociências - Número 1: Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 274p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa Municipal Estatístico de Tabatinga - AM**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1996. 208p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados da Base do INMET**.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais Climatológicas do Brasil: 1961-1990**. Brasília: INMET, 2009. 465p.

KAUFMAN, S.; LIBBY, W. F. The natural distribution of tritium. **Phys. Review**, vol. 93, nº 6, p.1337-1344, 1954.

KEITH, L. H. **Compilation of Epa's Sampling and Analysis Methods**. USA: CRC Press, 1996. 1696p.

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Introdução à Química da Água: Ciência, vida e sobrevivência**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. **Revista Acta Amazônica**, Manaus - AM, vol.35, nº 3, p.317-330, 2005.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G.R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposeqüência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.30, nº 1, p.59-68, 2006.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas d'água**. Recife: U.S Agency for International Development - USAID, 1965. 67p.

LOPES, F. C. C.; LIMA, J. R.; LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G.; LEITÃO, J. C. Comportamento anual da alcalinidade em águas subterrâneas de Crateús - CE. In: 5º Congresso Norte-Nordeste de Química & 3º Encontro Norte-Nordeste de Ensino de Química, 2013, Natal - RN. **Anais**. Natal: UFRN, 2013.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Org.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus: EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2009. p.172-188. cap. 13.

MAIA, R. G. N.; GODOY, H. K.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. F.; HOLANDA, M. A.; COSTA, J. A. **Projeto Carvão no Alto Solimões**. CPRM: Manaus, 1977. 11vol.

MANOEL FILHO, J. **Modernas Técnicas de Avaliação e Produção de Água Subterrânea**. Recife: UFPE, 2007. 88p.

MCKEE, J. E.; WOLF, H. W. Water Quality Criteria. **State Water Quality Control Board**, Sacramento, California, Pub. 3-A, 1963.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Ed. Distribuidora, 1984. 400p.

MERKEL, B. J.; FRIEDRICH, B. P. **Groundwater geochemistry: a Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems**. USA: Springer, 2008. 230p.

METCALF & Eddy, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. New York: McGraw-Hill, 1991.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – MS. **Sistema de Informação de Atenção Básica – SIAB – Situação de Saneamento – Amazonas**. Ministério da Saúde: Brasília, 2010. Disponível em: <[http:// tabnet.datasus.gov.br/ cgi/tabcgi.exe?siab/cnv/SIABCAM.def](http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?siab/cnv/SIABCAM.def)>. Acesso em dezembro de 2010.

MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; ALMEIDA, T. A.; MAIA, F. M. V. L. Análise da variabilidade espacial da salinidade em área irrigada e do nível d'água em aluvião sob uso agrícola na região semiárida do nordeste brasileiro. In: 14º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, , 2001, Aracaju – SE. **Anais**. Aracaju: ABRH, 2001.

MORAES, D. **Bioma Amazônia**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1999. Disponível em: <<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=958&sid=2>>. Acesso em: 01 junho 2014.

MORCOTE-RÍOS, G.; SICARD, T. L. **Las terras pretas del igarapé Takana: um sistema de cultivo precolombino en Leticia-Amazonas, Colombia**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2012. 188p.

MÜNNICH, K. O. Messungs des ¹⁴C gehaltes von hartem grundwasser. **Naturwiss**, 44, p. 32-39, 1957.

NEUMAN, S. P. **Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response**. USA: Water Resources Research, vol. 11, nº 1, p.329-342, 1975.

NIELSEN, D. M.; NIELSEN, G. L. **The Essential Handbook of Ground-water Sampling**. New York: CRC Press, 2007. 310 p.

OBIEFUNA, G. I.; SHERIFF, A. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, vol.3, p.131-141, 2011.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2011. 67p.

PEREIRA, S.; CAVALCANTE, I. N.; GOMES, D. F.; GOMES, M. C. R.; MOURA, I. B. M. A qualidade das águas subterrâneas na porção Oeste da faixa costeira do município de Fortaleza, Ceará. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2008, Natal - RN. **Anais**. Natal: ABAS, 2008. p.1-16.

PIVELI, R. P. **Curso: Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos - Aula 6: características químicas das águas: pH, acidez, alcalinidade e dureza**. São Paulo: LEB - ESALQ - USP, 2004. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%206%20-%20Alcalinidade%20e%20Acidez.pdf>>. Acesso em: 16 abril 2014.

POHLING, R. **Reações químicas na análise de água**. Fortaleza: Arte Visual, 2009.

PULS, R. W.; BARCELONA, M. J. Filtration of groundwater samples for metals analyses. **Hazardous Waste and Hazardous Materials**, vol. 6, nº4, p.385-393, 1989.

SANTOS, A.; RIBEIRO, M. N. G.; RIBEIRO, J. S.; BRINGEL, S. R. B. Hidroquímica da Amazônia Central III: Química de água de lavagem da floresta no ecossistema Campina Amazônia (Stemflow). **Acta Amazônica**, vol. 11, p. 335-346, 1981.

SANTOS, H. M. C.; VIEIRA, M.; PINTO, A. G. N. Identificação e análise dos principais impactos ambientais provocados por olarias no município de Tabatinga - Amazonas. **Caminhos de Geografia**, vol.9, nº 29, p.71-75, 2009.

SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M. N. G. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. **Acta Amazônica**, vol.18, p.145-72, 1988.

SCHMIDT, C. A. B. **Remediação in situ de solos e águas subterrâneas contaminados por líquidos orgânicos não miscíveis em água (NAPLs). Série Temática: Resíduos Sólidos e Geotecnia Ambiental – Volume 1.** Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ / 2010. 62 p.

SCHMIDT, E. I. **Estudo e qualidade das águas subterrâneas na região sudoeste do município de Estrela – RS.** 2006. 91 f. Monografia (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2006.

SCHOELLER, H. **Géochimie des Eaux Souterraines.** Paris: Revue de l'Institut Français du Pétrol, vol. 10, p. 230-244, 1955.

SCHOELLER, H. **Les Eaux Souterraines.** Paris: Masson, 1962. 642p.

SCHWARZBACH, M. S. R.; MORANDI, I. C. Avaliação da variabilidade temporal das características físicoquímicas das águas subterrâneas dos poços tubulares profundos do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000, Fortaleza – CE. **Anais.** Fortaleza: ABAS, 2000. p.1-18.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo: Folha SB-19 IÇÁ.** CPRM: 2004.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Geodiversidade do estado do Amazonas: programa geologia do Brasil - levantamento da geodiversidade.** MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (Org.). CPRM: Manaus, 2010. 275p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Zoneamento ecológico-econômico Brasil-Colômbia eixo Tabatinga-Apapóris: informe final: relatórios temáticos.** CPRM: Manaus, 2000. 249p.

SILVA, Ê. F. F.; ANTI, G. R.; CARMELLO, Q. A. C.; DUARTE, S. N. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor

de potássio na solução de um solo. **Scientia Agricola**, vol.57, nº 4, p.785-789, 2000.

SILVA, F. A. S. **ASSISTAT: versão 7.7**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

SILVA, P. A. Aspectos históricos e ambientais do Porto das Catraias e arredores e suas relações com Tabatinga (AM). 2011. 190p. **Dissertação de mestrado em geografia física - FFLCH: USP, São Paulo - SP, 2011.**

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, vol.8, n.4, p.1019-1028, 2003.

SINELLI, O. **Geologia e água subterrânea no município de Ribeirão Preto e adjacências**. 1970. 116p. Tese de Doutorado - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto - FFCLR, Ribeirão Preto, 1970.

SNOEYINK, V. L.; JENKINS, D. **Water Chemistry**. New York: John Wiley & Sons, 1980. 463p.

SZIKSZAY, M. **Geoquímica das Águas**. São Paulo: Scielo. Boletim IG-USP, Série Didática, nº 5, p.1-166, 1993. Disponível em: <<http://papegeo.igc.usp.br/pdf/bigsd/n5/01.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2014.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568p.

TEIXEIRA, I. E. M. Águas da formação Açú. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, Florianópolis - SC. **Anais**. Florianópolis: ABAS, 2002. p.1-25

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Vol. 1**. Belo Horizonte: Editora Universitária, 2005. vol. 1. 452p.

ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, Natal, Supl. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

7 – ANEXOS

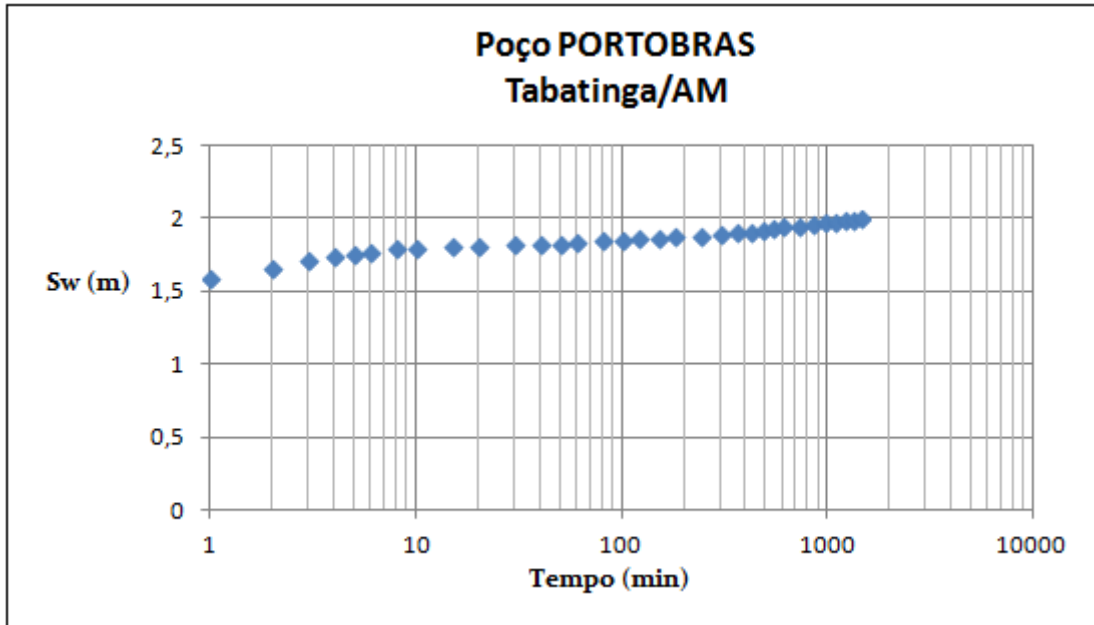
7.1 – Testes de Bombeamento – Planilhas, Gráficos e Valores Obtidos de T, K, S

7.1.1 – Dados do Poço TBT16 – Tabatinga – AM

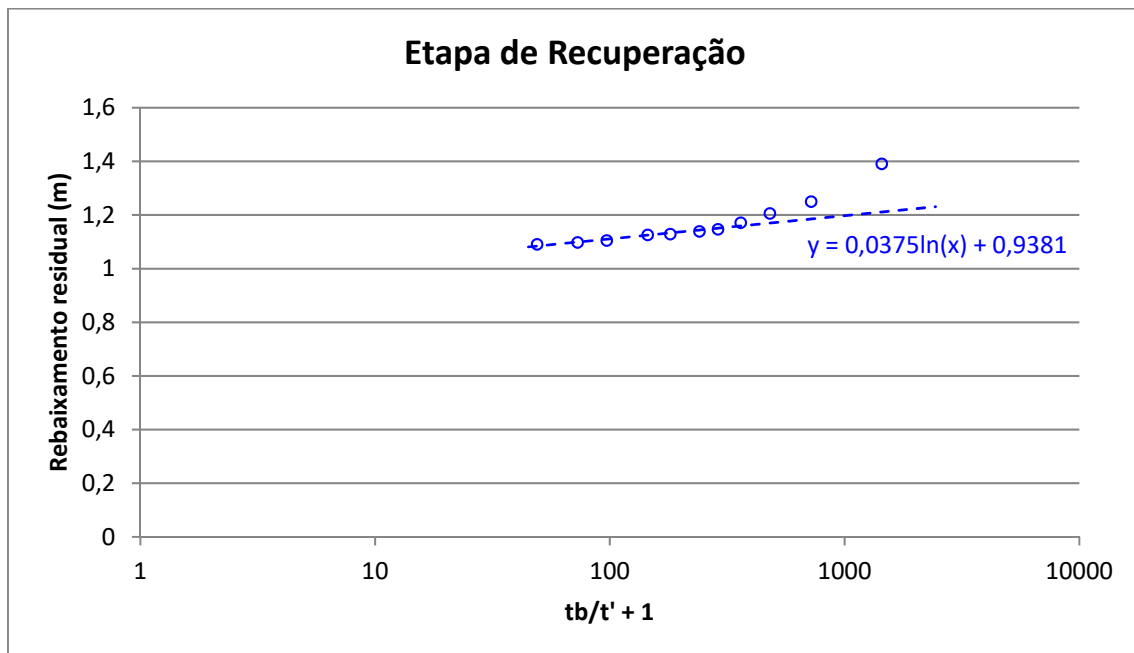
7.1.1.1 – Planilha

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado TBT16									
REFERÊNCIA DO POÇO: SIAGAS1300004165		PROF.: 22,00 m		EQUIPAMENTO: B. Injetora					
MUNICÍPIO: Tabatinga		N.E.: 9,741 m		AQÚÍFERO: Aluvião					
ESTADO: AM		N.D.: 11,741 m		EMPRESA: PORTOBRAS					
LOCAL: Porto Fluvial de Tabatinga		Q: 1,200 m ³ /h		DATA INÍCIO: 31.07.2012					
PROPRIETÁRIO: PORTOBRAS		Q/s: 0,600 (m ³ /h)/m		DATA TÉRMINO: 01.08.2012					
GPS:	UTM_E:	69° 56' 36,1"	UTM_N:	04° 14' 06,1"	ALTITUDE:	81 metros			
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t'	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
08:01	1	11,331	1,590	1,309	0,823	1	11,132	1,391	1441
08:02	2	11,406	1,665	1,309	0,786	2	10,991	1,250	721
08:03	3	11,454	1,713	1,309	0,764	3	10,947	1,206	481
08:04	4	11,488	1,747	1,309	0,749	4	10,912	1,171	361
08:05	5	11,502	1,761	1,309	0,743	5	10,888	1,147	289
08:06	6	11,518	1,777	1,309	0,737	6	10,880	1,139	241
08:08	8	11,538	1,797	1,309	0,728	8	10,870	1,129	181
08:10	10	11,547	1,806	1,309	0,725	10	10,867	1,126	145
08:15	15	11,561	1,820	1,309	0,719	15	10,846	1,105	97
08:20	20	11,559	1,818	1,309	0,720	20	10,839	1,098	73
08:30	30	11,563	1,822	1,309	0,718	30	10,832	1,091	49
08:40	40	11,568	1,827	1,241	0,679	40			
08:50	50	11,574	1,833	1,241	0,677	50			
09:00	60	11,580	1,839	1,241	0,675	60			
09:20	80	11,593	1,852	1,241	0,670	80			
09:40	100	11,595	1,854	1,241	0,669	100			
10:00	120	11,604	1,863	1,241	0,666	120			
10:30	150	11,615	1,874	1,241	0,662	150			
11:00	180	11,621	1,880	1,241	0,660	180			
12:00	240	11,629	1,888	1,241	0,657	240			
13:00	300	11,637	1,896	1,241	0,655	300			
14:00	360	11,648	1,907	1,241	0,651	360			
15:00	420	11,658	1,917	1,200	0,626	420			
16:00	480	11,669	1,928	1,200	0,622	480			
17:00	540	11,680	1,939	1,200	0,619	540			
18:00	600	11,688	1,947	1,200	0,616	600			
20:00	720	11,698	1,957	1,200	0,613	720			
22:00	840	11,706	1,965	1,200	0,611				
00:00	960	11,715	1,974	1,200	0,608				
02:00	1080	11,723	1,982	1,200	0,605				
04:00	1200	11,729	1,988	1,200	0,604				
06:00	1320	11,735	1,994	1,200	0,602				
08:00	1440	11,741	2,000	1,200	0,600				
TÉCNICO RESPONSÁVEL: Wilton José Silva da Rocha -Hidrogeólogo									

7.1.1.2 – Gráficos e Parâmetros Obtidos no Poço TBT16 pelo método de Cooper & Jacob (1946).



7.1.1.2a – Rebaixamento no poço TBT16 com o bombeamento.



7.1.1.2b – Recuperação no poço TBT16 com o bombeamento.

7.1.1.2c - Valores encontrados no poço TBT16PORTOBRAS para T, K, S pelo método de Cooper & Jacob (1946)

Etapas	b (m)	T			K			S
		m ² /s	m ² /h	m ² /dia	m/s	m/h	m/dia	
Rebaixamento	22	6,09E-04	2,19	52,6	2,77E-05	0,10	2,39	1,60E-03
Recuperação	22	7,13E-04	2,57	61,6	3,24E-05	0,12	2,80	-
Média	22	6,61E-04	2,38	57,1	3,01E-05	0,11	2,60	-

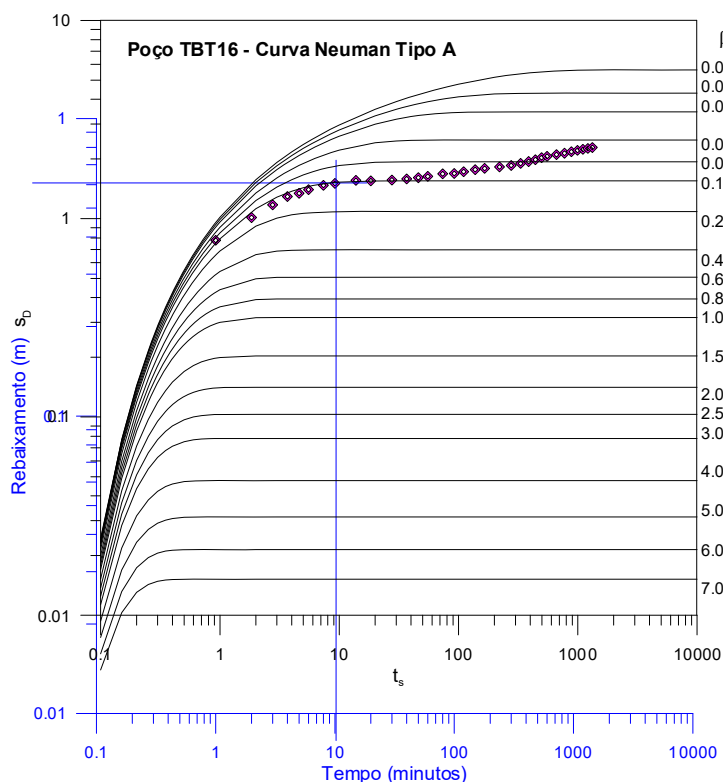
b = espessura do aquífero; T = coeficiente de transmissividade; K = condutividade hidráulica; S = coeficiente de armazenamento.

7.1.1.3 - Cálculo dos parâmetros hidráulicos do poço TBT16 supondo o aquífero do tipo livre, homogêneo e anisotrópico (modelo de Neuman, 1975).

Valores obtidos no ponto de superposição da curva de campo à curva $\beta=0,4$ da família de curvas Tipo A (gráfico 7.1.1.3a):

Poço	Trecho Tipo	t (min)	s (m)	ts	ty	SD	β
TBT16	A	10	0,6	9,2	-	1,6	0,1

t = tempo do rebaixamento; s = rebaixamento; ts = tempo adimensional antes da drenagem retardada; ty = tempo adimensional durante drenagem retardada; SD = rebaixamento adimensional; β = fator de drenagem retardada.



7.1.1.3a – Curva de rebaixamento do poço TBT16 superposta à curva padrão Tipo A de Neuman (antes da drenagem retardada) com $\beta=0,1$.

Parâmetros obtidos da família de curvas Tipo A (gráfico 7.1.1.2a):

Por hipótese a razão de penetração $\rho = \frac{h_s}{b} = 1 \rightarrow b = h_s = 8m \rightarrow r = 10m$;

$$T = \frac{3,33 \times 10^{-4} \times 1,6}{4\pi \times 0,6} = 7,07 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s} = 6,11 \text{ m}^2 / \text{dia} \rightarrow K = \frac{6,11}{8} = 0,76 \text{ m} / \text{d}$$

$$S = \frac{Tt}{t_s r^2} = \frac{7,07 \times 10^{-5} \times 10 \times 60}{15 \times 10^2} = 2,83 \times 10^{-5}$$

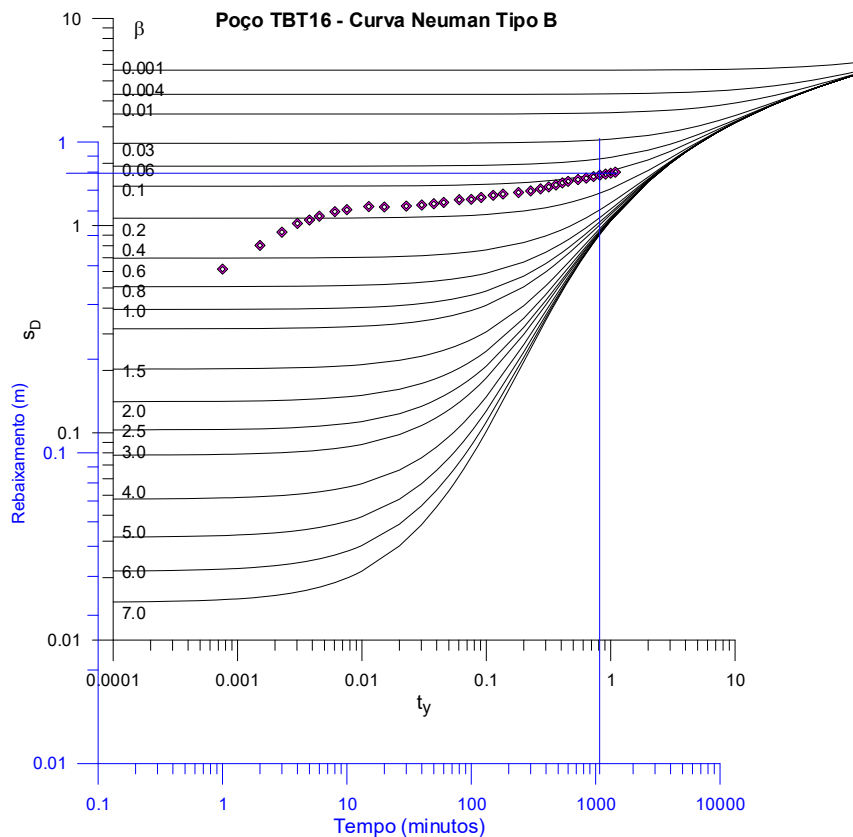
$$\text{Anisotropia: } K_D = \frac{K_v}{K_h} = \beta \left(\frac{b}{r} \right)^2 = 0,1 \times \left(\frac{15}{10} \right)^2 = 0,1 \times 2,25 = 0,225 \approx 1 / 4,5$$

$$K_v = 0,225 * 0,76 = 0,17 \text{ m} / \text{dia}$$

Valores obtidos no ponto de superposição da curva de campo à curva $\beta=0,4$ da família de curvas Tipo B (gráfico 7.1.1.3b):

Poço	Trecho Tipo	t (min)	s (m)	ts	ty	SD	β
TBT16	B	1050	0,7	-	0,8	1,8	0,1

t = tempo do rebaixamento; s = rebaixamento; ts = tempo adimensional antes da drenagem retardada; ty = tempo adimensional durante drenagem retardada; SD = rebaixamento adimensional; β = fator de drenagem retardada.



7.1.1.3b – Curva de rebaixamento do poço TBT16 superposta à curva padrão Tipo B de Neuman (antes da drenagem retardada) com $\beta=0,1$.

Parâmetros obtidos da família de curvas Tipo B (gráfico 7.1.2.4)

$$T = \frac{3,33 \times 10^4 \times 1,8}{4\pi \times 0,7} = 6,81 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s} = 5,89 \text{ m}^2 / \text{dia} \rightarrow K = \frac{5,89}{8} = 0,74 \text{ m} / \text{d}$$

$$S_y = \frac{Tt}{t_y r^2} = \frac{6,81 \times 10^{-5} \times 1050 \times 60}{0,8 \times 10^2} = 0,05$$

$$\text{Anisotropia: } K_D = \frac{K_v}{K_h} = \beta \left(\frac{b}{r} \right)^2 = 0,1 \times \left(\frac{15}{10} \right)^2 = 0,1 \times 2,25 = 0,225 \approx 1/4$$

$$K_v = 0,225 * 0,74 = 0,17 \text{ m} / \text{dia}$$

7.1.1.3c - Resultados encontrados no poço TBT16PORTOBRAS supondo o aquífero do tipo livre, anisotrópico com poços totalmente penetrantes e com drenagem retardada.

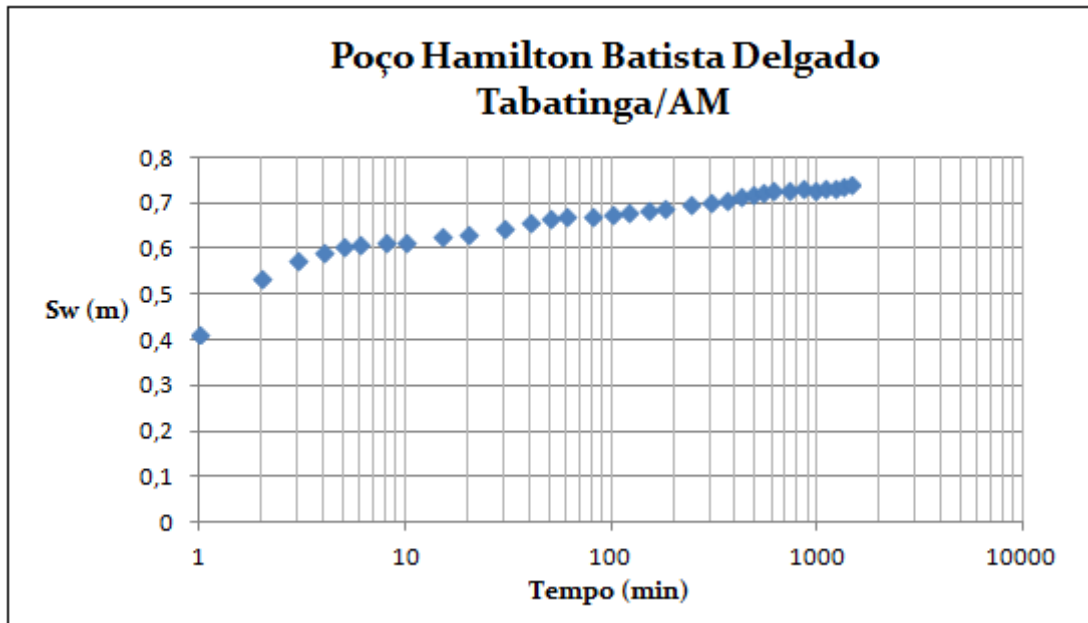
PARÂMETROS - TESTE TBT16	Símbolo	Unidade	Curva Tipo	
			A	B
Vazão	Q	m³/d	28,8	28,8
Rebaixamento	s	m	1,8	1,8
Tempo do rebaixamento	t	d	0,007	0,694
Distância do poço bombeado*	r	m	10	10
Rebaixamento adimensional	SD	adim	1,6	1,8
Tempo adimensional antes da drenagem retardada	ts	adim	15	-
Tempo adimensional durante drenagem retardada	t _y	adim	-	0,8
Fator de drenagem retardada	β	adim	0,1	0,1
Coefficiente de transmissividade	T	m²/d	6,11	5,89
Coefficiente de armazenamento	S	adim	2,8E-05	-
Porosidade efetiva	S _y	adim	-	0,05
Espessura do aquífero	b	m	15	15
Condutividade hidráulica horizontal	K _h	m/dia	0,76	0,74
Grau de anisotropia do aquífero	K _D	adim	0,225	0,225
Condutividade hidráulica vertical	K _v	m/dia	0,17	0,17

7.1.2 – Dados do Poço TBT17 – Tabatinga – AM

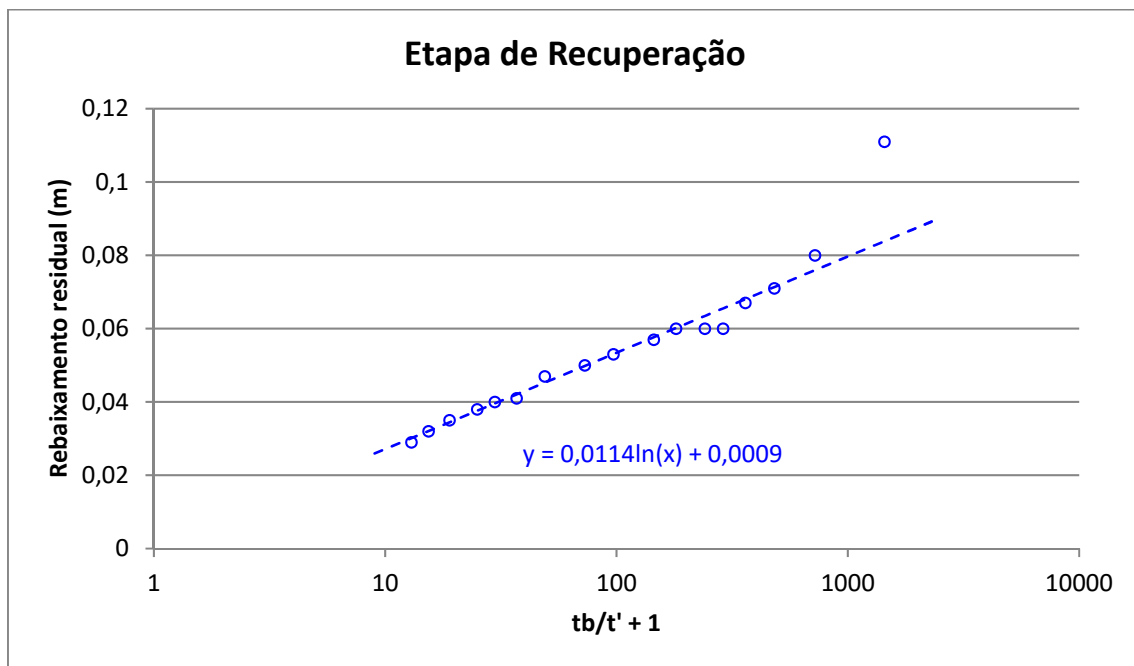
7.1.2.1 – Planilha

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - Poço bombeado TBT17									
REFERÊNCIA DO POÇO: SIAGAS 1300004179		PROF.: 18,00		m		EQUIPAMENTO: B. Injetora			
MUNICÍPIO: Tabatinga		N.E.: 8,851		m		AQÚÍFERO: Aluvião			
ESTADO: AM		N.D.: 9,592		m		EMPRESA: Particular			
LOCAL: Bairro Brilhante		Q: 1,296		m ³ /h		DATA INÍCIO: 30.07.2012			
PROPRIETÁRIO: Hamilton Batista Delgado		Q/s: 1,749		(m ³ /h)/m		DATA TÉRMINO: 31.07.2012			
GPS:	UTM_E:	69° 56' 27,3"		UTM_N:	04° 14' 25,4"		ALTITUDE:	90 metros	
REBAIXAMENTO					RECUPERAÇÃO				
HORA	t (min)	N.D. (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)	t' (min)	N.D. (m)	s (m)	tb/t' + 1
08:01	1	9,267	0,416	1,296	3,115	1	8,962	0,111	1441
08:02	2	9,387	0,536	1,296	2,418	2	8,931	0,080	721
08:03	3	9,429	0,578	1,296	2,242	3	8,922	0,071	481
08:04	4	9,447	0,596	1,296	2,174	4	8,918	0,067	361
08:05	5	9,456	0,605	1,296	2,142	5	8,911	0,060	289
08:06	6	9,461	0,610	1,296	2,125	6	8,911	0,060	241
08:08	8	9,466	0,615	1,296	2,107	8	8,911	0,060	181
08:10	10	9,469	0,618	1,296	2,097	10	8,908	0,057	145
08:15	15	9,478	0,627	1,296	2,067	15	8,904	0,053	97
08:20	20	9,484	0,633	1,296	2,047	20	8,901	0,050	73
08:30	30	9,496	0,645	1,296	2,009	30	8,898	0,047	49
08:40	40	9,509	0,658	1,296	1,970	40	8,892	0,041	37
08:50	50	9,518	0,667	1,296	1,943	50	8,891	0,040	29,8
09:00	60	9,522	0,671	1,296	1,931	60	8,889	0,038	25
09:20	80	9,526	0,675	1,296	1,920	80	8,886	0,035	19
09:40	100	9,528	0,677	1,296	1,914	100	8,883	0,032	15,4
10:00	120	9,531	0,680	1,296	1,906	120	8,880	0,029	13
10:30	150	9,537	0,686	1,296	1,889	150			
11:00	180	9,541	0,690	1,296	1,878	180			
12:00	240	9,549	0,698	1,296	1,857	240			
13:00	300	9,554	0,703	1,296	1,844	300			
14:00	360	9,561	0,710	1,296	1,825	360			
15:00	420	9,567	0,716	1,296	1,810	420			
16:00	480	9,574	0,723	1,296	1,793	480			
17:00	540	9,576	0,725	1,296	1,788	540			
18:00	600	9,579	0,728	1,296	1,780	600			
20:00	720	9,582	0,731	1,296	1,773	720			
22:00	840	9,584	0,733	1,296	1,768				
00:00	960	9,582	0,731	1,296	1,773				
02:00	1080	9,585	0,734	1,296	1,766				
04:00	1200	9,587	0,736	1,296	1,761				
06:00	1320	9,589	0,738	1,296	1,756				
08:00	1440	9,592	0,741	1,296	1,749				
TÉCNICO RESPONSÁVEL: Wilton José Silva da Rocha - Hidrogeólogo									

7.1.2.2 – Gráficos e Parâmetros Obtidos no Poço TBT17 pelo método de Cooper & Jacob (1946).



7.1.2.2a – Rebaixamento no poço TBT17 com o bombeamento.



7.1.2.2c - Valores encontrados no poço TBT17 para T, K, S

Etapas	b (m)	T			K			S
		m ² /s	m ² /h	m ² /dia	m/s	m/h	m/dia	
Rebaixamento	22	9,32E-04	3,36	80,64	4,41E-05	0,16	3,84	5,65E-03
Recuperação	22	2,51E-03	9,04	216,96	1,19E-04	0,43	9,68	
Média	22	1,72E-03	6,20	148,8	8,14E-05	0,29	6,76	

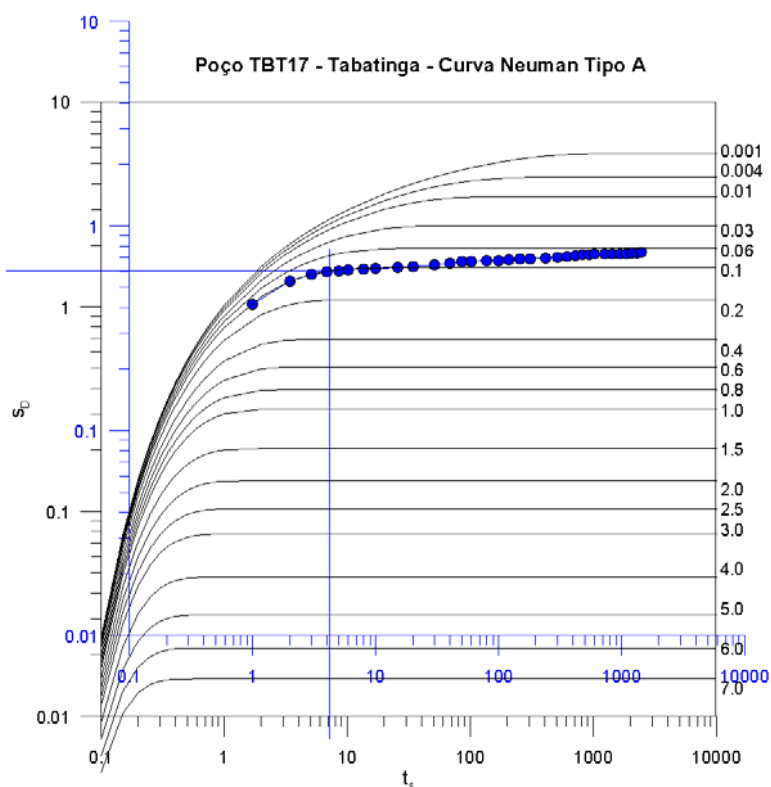
*b = espessura do aquífero; T = coeficiente de transmissividade; K = condutividade hidráulica; S = coeficiente de armazenamento.

7.1.2.3 - Cálculo dos parâmetros hidráulicos do poço TBT17 supondo o aquífero do tipo livre, homogêneo e anisotrópico (modelo de Neuman, 1975).

Valores obtidos no ponto de superposição da curva de campo à curva $\beta=0,1$ da família de curvas Tipo A (gráfico 7.1.2.3a):

Poço	Trecho Tipo	t (min)	s (m)	ts	ty	SD	β
TBT17	A	4,1	0,60	7	-	1,6	0,1

t = tempo do rebaixamento; s = rebaixamento; ts = tempo adimensional antes da drenagem retardada; ty = tempo adimensional durante drenagem retardada; SD = rebaixamento adimensional; β = fator de drenagem retardada.



7.1.2.3a – Curva de rebaixamento do poço TBT17 superposta à curva padrão Tipo A de Neuman (antes da drenagem retardada) com $\beta=0,1$.

Parâmetros obtidos da família de curvas Tipo A (gráfico 7.1.2.3a):

$$T = \frac{3,61 \times 10^{-4} \times 1,6}{4\pi \times 0,60} = 7,66 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s} = 6,62 \text{ m}^2 / \text{dia} \rightarrow K = \frac{6,62}{8} = 0,83 \text{ m / dia}$$

$$S = \frac{Tt}{t_s r^2} = \frac{7,66 \times 10^{-5} \times 4,1 \times 60}{7,0 \times 10^2} = 2,69 \times 10^{-5}$$

$$\text{Anisotropia: } K_D = \frac{K_v}{K_h} = \beta \left(\frac{b}{r} \right)^2 = 0,1 \times \left(\frac{15}{10} \right)^2 = 0,1 \times 2,25 = 0,225 \approx 1 / 4,5$$

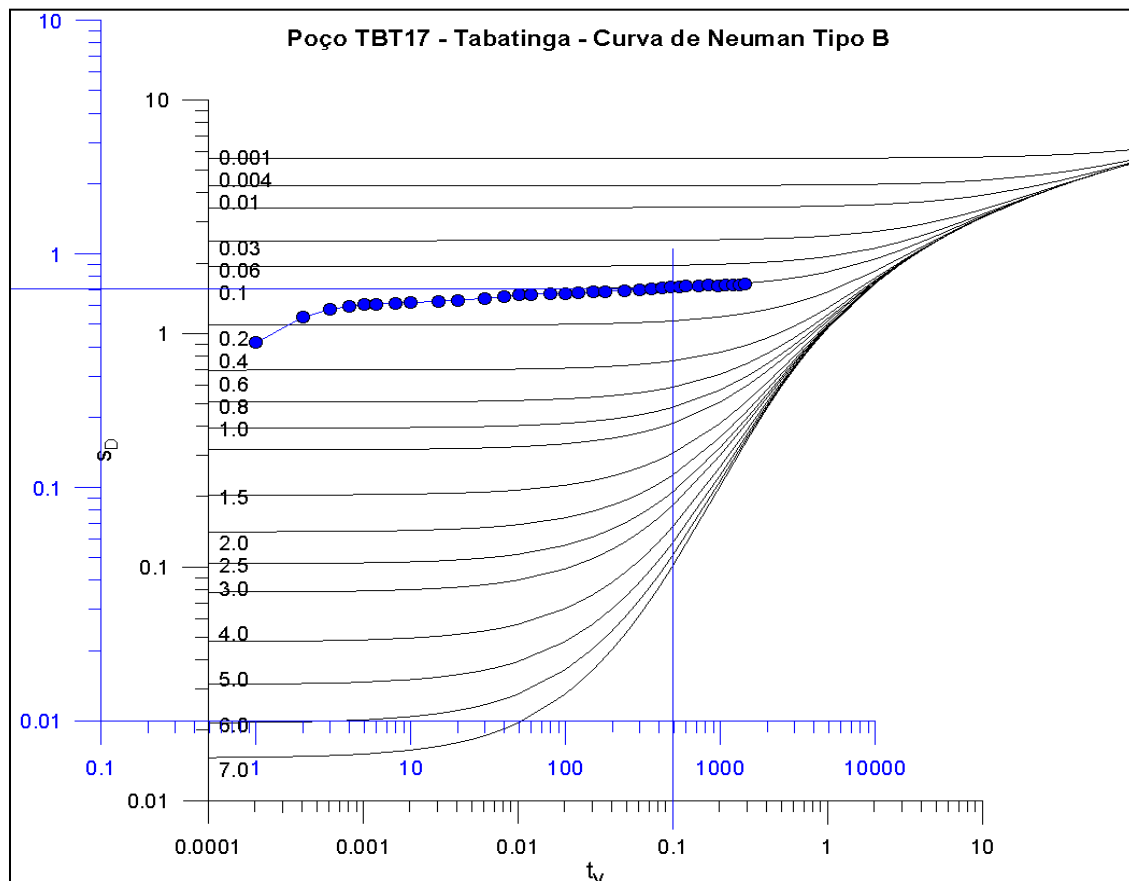
$$K_v = 0,225 \times 0,83 = 0,19 \text{ m / dia}$$

Valores obtidos no ponto de superposição da curva de campo à curva $\beta=0,1$ da família de curvas Tipo B (gráfico 7.1.2.3b):

Poço	Trecho Tipo	t (min)	s (m)	ts	ty	SD	β
TBT17	B	1050	0,7	-	0,1	1,6	0,1

t = tempo do rebaixamento; s = rebaixamento; ts = tempo adimensional antes da drenagem retardada; ty = tempo adimensional durante drenagem retardada; SD = rebaixamento adimensional; β = fator de drenagem retardada.

7.1.2.3b – Curva de rebaixamento do poço TBT17 superposta à curva padrão Tipo B de Neuman (antes da drenagem retardada) com $\beta=0,1$.



Parâmetros obtidos da família de curvas Tipo B (gráfico 7.1.2.3b)

$$T = \frac{3,61 \times 10^4 \times 1,6}{4\pi \times 0,7} = 6,57 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s} = 5,67 \text{ m}^2 / \text{dia} \rightarrow K = \frac{5,67}{8} = 0,71 \text{ m} / \text{dia}$$

$$S_y = \frac{Tt}{t_y r^2} = \frac{6,57 \times 10^{-5} \times 500 \times 60}{0,1 \times 15^2} = 0,20$$

$$\text{Anisotropia: } K_D = \frac{K_v}{K_h} = \beta \left(\frac{b}{r} \right)^2 = 0,1 \times \left(\frac{15}{10} \right)^2 = 0,1 \times 2,25 = 0,225 \approx 1 / 4,5$$

$$K_v = 0,225 \times 0,71 \approx 0,16 \text{ m} / \text{dia}$$

7.1.2.3c - Resultados encontrados no poço TBT17 supondo o aquífero do tipo livre, anisotrópico com poços totalmente penetrantes e com drenagem retardada.

PARÂMETROS - TESTE TBT17	Símbolo	Unidade	Curva Tipo	
			A	B
Vazão	Q	m ³ /dia	31,2	31,2
Rebaixamento	s	m	0,60	0,70
Tempo do rebaixamento	t	dia	0,003	0,35
Distância do poço bombeado*	r	m	10	10
Rebaixamento adimensional	S _D	adim	1,6	1,6
Tempo adimensional antes da drenagem retardada	t _s	adim	7	-
Tempo adimensional durante drenagem retardada	t _y	adim	-	0,10
Fator de drenagem retardada	β	adim	0,4	0,4
Coeficiente de transmissividade	T	m ² /dia	6,62	5,67
Coeficiente de armazenamento	S	adim	2,7E-05	-
Porosidade efetiva	S _y	adim	-	0,20
Espessura do aquífero	b	m	15	15
Condutividade hidráulica horizontal	K _h	m/dia	0,83	0,71
Grau de anisotropia do aquífero	K _D	adim	0,225	0,225
Condutividade hidráulica vertical	K _v	m/dia	0,16	0,16

7.2 – Dados dos Poços Cadastrados pela ANA-PHA e Catalogados do SIAGAS/CPRM 2010 em Tabatinga

7.2.1 – Identificação, localização e parâmetros selecionados para a estatística dos 121 poços constantes do SIG-ANA-PHA em Tabatinga

7.2.1 – Identificação, localização e parâmetros selecionados para a estatística dos 121 poços constantes do SIG-ANA-PHA em Tabatinga.

Item	Ponto	Órgão	Proprietário	Município	UF	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Altura da Boca (cm)	Diâmetro de Revestimento (mm)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Situação	Operação (h/dia)	Tipo de Bomba	Uso da Água	Tipo de Reservatório
1	TB007	ANA	Maria Pinto Antonio da Silva	Tabatinga	AM	69° 56' 23,347" W	4° 13' 30,502" S	18	6	-	-	-	2	Bombeando	2	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
2	1300004171	CPRM	1ª Igreja Batista Regular em Tabatinga	Tabatinga	AM	69° 55' 58" W	04° 13' 43" S	27	25	101,6	4	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
3	1300004185	CPRM	Adalberto Borges de Oliveira	Tabatinga	AM	69° 56' 03" W	04° 13' 47" S	18	30	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
4	TB045	ANA	Adalto de Souza de Oliveira	Tabatinga	AM	69° 56' 20,521" W	4° 13' 54,147" S	18	13	-	-	-	-	Bombeando	3	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
5	TB047	ANA	Altina de Menesses	Tabatinga	AM	69° 56' 18,854" W	4° 13' 42,817" S	18	22	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
6	TB005	ANA	Antonia Batista Pinto	Tabatinga	AM	69° 56' 14,771" W	4° 13' 19,702" S	17	13	-	-	-	-	Bombeando	2	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
7	1300004157	CPRM	Antonio Célio Maia Costa	Tabatinga	AM	69° 56' 25" W	04° 14' 20" S	18	10	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
8	TB021	ANA	Antonio Garcia	Tabatinga	AM	69° 55' 45,177" W	4° 13' 35,954" S	18	13,5	-	-	-	-	Bombeando	0,25	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
9	TB022	ANA	Residência de Hamilton Batista delgado	Tabatinga	AM	69°55' 28,01" W	04°13' 47,55" S	20	15,5	-	3,97	-	-	Bombeando	1	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água alvenaria
10	1300004181	CPRM	Arquidiocese de Manaus	Tabatinga	AM	69° 55' 33" W	04° 14' 01" S	12	30	101,6	1,5	-	2,5	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
11	1300000421	CPRM	Banco do Brasil	Tabatinga	AM	69° 56' 08" W	04° 14' 27" S	18	10	101,6	-	-	-	Abandonado	-	-	Abastecimento doméstico	-
12	1300004162	CPRM	Banco do Brasil	Tabatinga	AM	69° 56' 10" W	04° 14' 28" S	30	70	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Outros (lazer, etc.)	-
13	TB038	ANA	Baudilia Ahuanari Maytauari	Tabatinga	AM	69° 56' 31,915" W	4° 13' 34,204" S	19	8	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
14	1300004172	CPRM	Câmara Municipal de Tabatinga	Tabatinga	AM	69° 56' 10" W	04° 13' 34" S	18	10	101,6	4,85	-	-	Bombeando	-	-	Abastecimento múltiplo	-
15	TB011	ANA	Carlinda Bezerra de Souza	Tabatinga	AM	69° 56' 11,012" W	4° 13' 21,920" S	18	5	-	-	-	-	Bombeando	0,33	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
16	TB050	ANA	Carlos Barbosa Daciano	Tabatinga	AM	69° 56' 16,482" W	4° 13' 39,433" S	19	11	-	-	-	-	Bombeando	2	-	Abastecimento doméstico	Não possui
17	1300000429	CPRM	Comara	Tabatinga	AM	69°56' 36,73" W	04°15' 19,73" S	23	10	101,6	7,46	-	-	Obstruído	-	-	Abastecimento industrial	-
18	1300000430	CPRM	CEAM	Tabatinga	AM	69° 56' 38" W	04° 14' 42" S	24	40	101,6	-	-	-	Bombeando	-	-	Abastecimento industrial	-

7.2.1 – Identificação, localização e parâmetros selecionados para a estatística dos 121 poços constantes do SIG-ANA-PHA em Tabatinga (Continuação).

Item	Ponto	Órgão	Proprietário	Município	UF	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Altura da Boca (cm)	Diâmetro de Revestimento (mm)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Situação	Operação (h/dia)	Tipo de Bomba	Uso da Água	Tipo de Reservatório
19	TB041	ANA	Ciseyane da Silva Panduro	Tabatinga	AM	69° 56' 33,089" W	4° 13' 39,739" S	19	10	-	-	-	-	Abandonado	-	-	Abastecimento doméstico	Não possui
20	1300004174	CPRM	Claúdia Batalha Rodrigues	Tabatinga	AM	69° 55' 55" W	04° 13' 11" S	18	20	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
21	TB001	ANA	Claudio Batista de Aguiar	Tabatinga	AM	69° 56' 17,070" W	4° 13' 43,210" S	22	8	-	-	-	-	Bombeando	4	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
22	1300004148	CPRM	Comunidade Umariçu I	Tabatinga	AM	69° 56' 38" W	04° 15' 55" S	30	80	152,4	3	15	12	Bombeando	-	-	Abastecimento urbano	-
23	1300004149	CPRM	Comunidade Umariçu I	Tabatinga	AM	69° 56' 36" W	04° 15' 55" S	30	90	152,4	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento urbano	-
24	1300004150	CPRM	Comunidade Umariçu I	Tabatinga	AM	69° 56' 35" W	04° 15' 55" S	30	50	152,4	5,2	-	-	Não instalado	-	Bomba submersa	Abastecimento urbano	-
25	1300004151	CPRM	Comunidade Umariçu I	Tabatinga	AM	69° 56' 33" W	04° 15' 50" S	36	60	152,4	10	-	-	Parado	-	Bomba submersa	Abastecimento urbano	-
26	1300004152	CPRM	Comunidade Umariçu I	Tabatinga	AM	69° 56' 32" W	04° 15' 51" S	35	60	152,4	10,4	-	-	Abandonado	-	Bomba submersa	Abastecimento urbano	-
27	1300004153	CPRM	Comunidade Umariçu I	Tabatinga	AM	69° 56' 36" W	04° 15' 59" S	30	30	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento urbano	-
28	1300004144	CPRM	Comunidade Umariçu li	Tabatinga	AM	69° 56' 12" W	04° 16' 15" S	35	110	152,4	6	12,5	10	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento urbano	-
29	1300004145	CPRM	Comunidade Umariçu li	Tabatinga	AM	69° 56' 14" W	04° 16' 00" S	24	20	152,4	10,4	16	18	Parado	-	Bomba Centrífuga	Abastecimento urbano	-
30	1300004146	CPRM	Comunidade Umariçu li	Tabatinga	AM	69° 56' 13" W	04° 16' 00" S	30	80	203,2	13	18	20	Equipado	-	Bomba injetora	Abastecimento urbano	-
31	1300004147	CPRM	Comunidade Umariçu li	Tabatinga	AM	69° 56' 11" W	04° 16' 10" S	18	-	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba injetora	Abastecimento urbano	-
32	TB014	ANA	Consuelo da Silva Mafra	Tabatinga	AM	69° 55' 48,400" W	4° 2' 10,278" S	18	12	-	-	-	-	Bombeando	1	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
33	1300004184	CPRM	Cristovam Chaves Lopes	Tabatinga	AM	69° 55' 47" W	04° 14' 17" S	18	10	101,6	-	-	-	Bombeando	-	-	Abastecimento doméstico	-
34	TB028	ANA	Damiao Grandes Pereira	Tabatinga	AM	69° 55' 44,295" W	4° 13' 57,773" S	20	15	-	-	-	-	Bombeando	2	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Brasilite
35	TB037	ANA	Daniel Leite Pinto	Tabatinga	AM	69° 56' 22,311" W	4° 13' 59,160" S	19	10	-	-	-	-	Bombeando	0,33	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
36	1300000422	CPRM	Dídimo Pires de Oliveira	Tabatinga	AM	69° 56' 11" W	04° 13' 33" S	18	-	101,6	-	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento doméstico	-
37	TB019	ANA	Elisandra de Luiz Peixoto	Tabatinga	AM	69° 55' 26,785" W	4° 13' 34,934" S	18	16	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
38	1300000431	CPRM	Exercito – Ministério da Defesa	Tabatinga	AM	69° 56' 14" W	04° 14' 05" S	24	40	101,6	-	-	-	Equipado	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-

7.2.1 – Identificação, localização e parâmetros selecionados para a estatística dos 121 poços constantes do SIG-ANA-PHA em Tabatinga (Continuação).

Item	Ponto	Órgão	Proprietário	Município	UF	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Altura da Boca (cm)	Diâmetro de Revestimento (mm)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Situação	Operação (h/dia)	Tipo de Bomba	Uso da Água	Tipo de Reservatório
39	130000432	CPRM	Exercito – Ministério da Defesa	Tabatinga	AM	69° 56' 16" W	04° 14' 00" S	23	20	101,6	-	-	-	Equipado	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
40	1300004160	CPRM	Exercito – Ministério da Defesa	Tabatinga	AM	69° 56' 21" W	04° 14' 43" S	20	15	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
41	1300004161	CPRM	Exercito – Ministério da Defesa	Tabatinga	AM	69° 56' 21" W	04° 14' 41" S	20	30	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba injetora	Abastecimento múltiplo	-
42	1300004163	CPRM	Exercito – Ministério da Defesa	Tabatinga	AM	69° 56' 15" W	04° 14' 04" S	20	10	101,6	5,3	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
43	1300004164	CPRM	Exercito – Ministério da Defesa	Tabatinga	AM	69° 56' 15" W	04° 14' 03" S	18,3	20	101,6	5,3	-	-	Não instalado	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
44	TB027	ANA	Filomena Pevaz Cordeiro	Tabatinga	AM	69° 55' 17,590" W	4° 13' 48,687" S	12	21	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
45	1300004188	CPRM	Francisco dos Santos Leão	Tabatinga	AM	69° 55' 25" W	04° 14' 12" S	18	10	101,6	6	-	2	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
46	TB046	ANA	Francisco Pereira de Souza	Tabatinga	AM	69° 56' 25,510" W	4° 13' 49,061" S	19	11	-	-	-	-	Bombeando	0,33	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
47	1300004182	CPRM	Unidade Sustentável de Tabatinga	Tabatinga	AM	69°55' 40,97" W	04°14' 03,30" S	18	30	101,6	3,72	-	2	Equipado	-	-	Abastecimento doméstico	-
48	1300004191	CPRM	Escola Estadual Pedro Teixeira	Tabatinga	AM	69°56' 27,00" W	04°14' 25,00" S	25	40	101,6	7,63	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento múltiplo	-
49	1300004187	CPRM	Fundação Esperança	Tabatinga	AM	69° 56' 03" W	04° 13' 12" S	18	40	152,4	4	7	2	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
50	130000419	CPRM	Governo do Estado do Amazonas	Tabatinga	AM	69° 56' 24" W	04° 15' 00" S	20	80	311,15	-	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento múltiplo	-
51	130000423	CPRM	Governo do Estado do Amazonas	Tabatinga	AM	69° 56' 09" W	04° 13' 28" S	25	30	101,6	-	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento múltiplo	-
52	1300004159	CPRM	Bairro São Francisco	Tabatinga	AM	69°56' 15,21" W	04°13' 22,26" S	30	10	101,6	7,63	-	-	Bombeando	-	Bomba injetora	Abastecimento urbano	-
53	1300004175	CPRM	MJDP - Escola Menino Jesus de Praga	Tabatinga	AM	69°55' 51,94" W	04°13' 12,45" S	40	100	152,4	3,7	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
54	1300004178	CPRM	Governo do Estado do Amazonas	Tabatinga	AM	69° 56' 20" W	04° 13' 38" S	18	5	101,6	8	-	1,5	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-

7.2.1 – Identificação, localização e parâmetros selecionados para a estatística dos 121 poços constantes do SIG-ANA-PHA em Tabatinga (Continuação).

Item	Ponto	Órgão	Proprietário	Município	UF	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Altura da Boca (cm)	Diâmetro de Revestimento (mm)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Situação	Operação (h/dia)	Tipo de Bomba	Uso da Água	Tipo de Reservatório
55	1300004179	CPRM	Escola Municipal Senador Fábio Lucena	Tabatinga	AM	69°56' 25,99" W	04°13' 48,00" S	18	10	101,6	8,04	-	-	Bombeando	-	-	Abastecimento doméstico	-
56	1300000425	CPRM	Secretaria Municipal de Saúde	Tabatinga	AM	69°56' 12,99" W	04°13' 37,00" S	18	25	101,6	5,85	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento doméstico	-
57	1300004180	CPRM	Igreja Batista Nacional Renovada	Tabatinga	AM	69° 56' 00" W	04° 14' 03" S	18	-	101,6	3,8	-	1	Bombeando	-	-	Abastecimento doméstico	-
58	1300004154	CPRM	INFRAERO	Tabatinga	AM	69° 56' 25" W	04° 15' 00" S	23	10	152,4	11	15	1,8	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
59	1300004155	CPRM	INFRAERO	Tabatinga	AM	69° 56' 25" W	04° 15' 00" S	23	50	101,6	15	18	2	Bombeando	-	-	Abastecimento doméstico	-
60	1300004156	CPRM	INFRAERO	Tabatinga	AM	69° 56' 25" W	04° 15' 01" S	104	10	152,4	8,7	-	-	Abandonado	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
61	TB018	ANA	Irla Jaqueline F. de Brito	Tabatinga	AM	69° 55' 43,392" W	4° 13' 34,719" S	18	13	-	-	-	-	Bombeando	0,33	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
62	TB042	ANA	Isabel Queiros da Costa	Tabatinga	AM	69° 56' 32,573" W	4° 13' 42,475" S	20	11	-	-	-	-	Bombeando	0,25	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
63	TB017	ANA	Joana Fernande Ribeiro	Tabatinga	AM	69° 55' 49,133" W	4° 13' 35,103" S	16	16	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
64	1300004190	CPRM	João Souza da Silva	Tabatinga	AM	69° 56' 40" W	04° 14' 20" S	18	20	101,6	9,35	-	1	Equipado	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
65	1300000424	CPRM	José Messias	Tabatinga	AM	69° 56' 11" W	04° 13' 44" S	18	10	101,6	-	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento múltiplo	-
66	TB008	ANA	José Sales Barbosa	Tabatinga	AM	69° 56' 20,069" W	4° 13' 28,813" S	18	7	-	-	-	-	Bombeando	1	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
67	TB026	ANA	Josimar Lorente	Tabatinga	AM	69° 55' 22,544" W	4° 13' 42,103" S	18	20	-	-	-	-	Bombeando	0,25	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
68	TB016	ANA	Leli Mosambite de Sales	Tabatinga	AM	69° 55' 53,368" W	4° 13' 22,854" S	18	13	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
69	1300004186	CPRM	Leonilha Pinto Batista	Tabatinga	AM	69° 56' 17" W	04° 13' 26" S	18	30	101,6	4	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento doméstico	-
70	1300004169	CPRM	Loja Maçonica	Tabatinga	AM	69° 56' 16" W	04° 14' 19" S	18	50	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
71	TB015	ANA	MAS - Mérito Sateba de Assunção	Tabatinga	AM	69°55' 39,14" W	04°13' 18,85" S	9	12	-	5,2	-	-	Bombeando	0,25	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
72	TB049	ANA	Luiz Caldas	Tabatinga	AM	69° 56' 19,143" W	4° 13' 40,733" S	19	17	-	-	-	-	Bombeando	2	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
73	TB031	ANA	Manoel Moura Dias	Tabatinga	AM	69° 56' 0,018" W	4° 13' 50,851" S	19	13	-	-	-	-	Abandonado	-	-	Abastecimento doméstico	Não possui
74	TB033	ANA	Manoel Vitor Ramos	Tabatinga	AM	69° 56' 15,591" W	4° 13' 53,893" S	18	14	-	-	-	-	Abandonado	-	-	Abastecimento doméstico	Não possui

7.2.1 – Identificação, localização e parâmetros selecionados para a estatística dos 121 poços constantes do SIG-ANA-PHA em Tabatinga (Continuação).

Item	Ponto	Órgão	Proprietário	Município	UF	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Altura da Boca (cm)	Diâmetro de Revestimento (mm)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Situação	Operação (h/dia)	Tipo de Bomba	Uso da Água	Tipo de Reservatório
75	TB032	ANA	Escola Estadual Francisco Mendes	Tabatinga	AM	69° 55' 42,04" W	04° 13' 36,43" S	19	11	-	3,65	-	-	Abandonado	-	-	Abastecimento doméstico	Não possui
76	1300004173	CPRM	Maria de Lourdes Moura Mendes	Tabatinga	AM	69° 55' 58" W	04° 13' 05" S	18	15	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
77	TB004	ANA	Maria Estela Carvalho	Tabatinga	AM	69° 56' 15,196" W	4° 13' 22,241" S	18	7	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
78	TB003	ANA	Maria Ponte Luiz	Tabatinga	AM	69° 56' 18,088" W	4° 13' 26,341" S	20	11	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
79	TB025	ANA	Marines Barros dos Santos	Tabatinga	AM	69° 55' 26,016" W	4° 13' 42,750" S	19	12	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
80	1300004165	CPRM	Vila de Oficiais da Marinha Do Brasil	Tabatinga	AM	69° 56' 09,01" W	04° 14' 10,00" S	22	30	101,6	5,96	-	3	Bombeando	-	-	Abastecimento múltiplo	-
81	1300004166	CPRM	Marinha do Brasil	Tabatinga	AM	69° 56' 31" W	04° 14' 02" S	22	15	203,2	10	-	-	Parado	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
82	1300004167	CPRM	Mérito Sateba de Assunção	Tabatinga	AM	69° 56' 14,34" W	04° 13' 58,54" S	22	10	101,6	7,78	-	-	Bombeando	-	Bomba manual	Abastecimento doméstico	-
83	TB012	ANA	Marlete Celestino Brito	Tabatinga	AM	69° 56' 4,124" W	4° 13' 12,225" S	18	10	-	-	-	-	Bombeando	4	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
84	TB044	ANA	Matilde de Sales Hayden	Tabatinga	AM	69° 56' 35,587" W	4° 13' 39,801" S	19,8	12	-	-	-	-	Abandonado	-	-	Abastecimento doméstico	Não possui
85	1300004168	CPRM	Nelson de Paula	Tabatinga	AM	69° 55' 58" W	04° 13' 41" S	12	40	76,2	-	-	-	Bombeando	-	-	Abastecimento doméstico	-
86	TB013	ANA	Nelson Valeno Leandro	Tabatinga	AM	69° 55' 58,060" W	4° 13' 13,469" S	18	-	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
87	TB035	ANA	Oseias Pereira dos Santos	Tabatinga	AM	69° 56' 23,997" W	4° 13' 31,413" S	20	11	-	-	-	-	Bombeando	1	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
88	TB010	ANA	Pedro Rodrigues Monteiro	Tabatinga	AM	69° 56' 12,644" W	4° 13' 30,971" S	18	11	-	-	-	-	Bombeando	0,17	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
89	TB043	ANA	Porto de Tabatinga	Tabatinga	AM	69° 56' 34,387" W	4° 13' 40,551" S	19	11	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
90	TB048	ANA	Porto de Tabatinga	Tabatinga	AM	69° 56' 18,887" W	4° 13' 43,859" S	19	11	-	-	-	-	Bombeando	0,25	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
91	1300004142	CPRM	Prefeitura Municipal de Tabatinga	Tabatinga	AM	69° 56' 08" W	04° 13' 35" S	22	40	76,2	4,77	-	-	Equipado	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
92	1300004143	CPRM	Prefeitura Municipal de Tabatinga	Tabatinga	AM	69° 56' 10" W	04° 13' 36" S	22	10	152,4	4,77	-	-	Abandonado	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-

7.2.1 – Identificação, localização e parâmetros selecionados para a estatística dos 121 poços constantes do SIG-ANA-PHA em Tabatinga (Continuação).

Item	Ponto	Órgão	Proprietário	Município	UF	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Altura da Boca (cm)	Diâmetro de Revestimento (mm)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Situação	Operação (h/dia)	Tipo de Bomba	Uso da Água	Tipo de Reservatório
93	1300004183	CPRM	Escola Estadual Nova Esperança	Tabatinga	AM	69°55' 40,63" W	04°14' 15,74" S	18	-	76,2	3,89	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento múltiplo	-
94	1300004189	CPRM	Escola Estadual Duque de Caxias	Tabatinga	AM	69°56' 19,01" W	04°14' 46,00" S	18	20	101,6	6,28	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento múltiplo	-
95	TB006	ANA	Raimunda Dias dDe Souza	Tabatinga	AM	69° 56' 25,744" W	4° 13' 27,243" S	15	8	-	-	-	-	Bombeando	2	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
96	TB039	ANA	Raimunda dos Santosbento	Tabatinga	AM	69° 56' 30,135" W	4° 13' 37,398" S	20	-	-	-	-	-	Bombeando	0,33	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
97	TB034	ANA	Raimunda Hilario	Tabatinga	AM	69° 56' 35,387" W	4° 13' 35,828" S	16	-	-	-	-	-	Abandonado	-	-	Abastecimento doméstico	Não possui
98	1300004176	CPRM	Capitania Fluvial de Tabatinga	Tabatinga	AM	69°56' 34,99" W	04°14' 05,00" S	18	10	76,2	12,21	-	1,5	Bombeando	-	-	Abastecimento industrial	-
99	TB024	ANA	Rosaria de Melo De Assis	Tabatinga	AM	69° 55' 33,768" W	4° 13' 42,806" S	12	12	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água alvenaria
100	TB029	ANA	Roselir da Silva Ramires	Tabatinga	AM	69° 55' 57,647" W	4° 13' 48,053" S	19	14	-	-	-	-	Bombeando	0,25	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
101	TB030	ANA	Rosindo Rabelo Rubem	Tabatinga	AM	69° 55' 55,700" W	4° 13' 47,795" S	18	10	-	-	-	-	Bombeando	0,33	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
102	1300000428	CPRM	Sebastião Marinho	Tabatinga	AM	69° 56' 39" W	04° 14' 16" S	20	10	101,6	-	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento doméstico	-
103	1300004177	CPRM	Shirley William dos Santos	Tabatinga	AM	69° 55' 54" W	04° 13' 22" S	24	100	152,4	-	-	-	Parado	-	-	Abastecimento industrial	-
104	TB023	ANA	Sidney Santos da Silva	Tabatinga	AM	69° 55' 44,454" W	4° 13' 29,312" S	20	24	-	-	-	-	Bombeando	0,33	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
105	TB036	ANA	Suely dos Santos Maia	Tabatinga	AM	69° 56' 22,732" W	4° 13' 58,052" S	10	12	-	-	-	-	Bombeando	1	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água alvenaria
106	1300004170	CPRM	Suframa	Tabatinga	AM	69° 56' 07" W	04° 13' 42" S	20	50	152,4	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento múltiplo	-
107	TB040	ANA	Tatiana da Conceicao Ferreira	Tabatinga	AM	69° 56' 32,146" W	4° 13' 37,526" S	22	10	-	-	-	-	Bombeando	1	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
108	TB009	ANA	Valdemar da Silva Santana	Tabatinga	AM	69° 56' 16,114" W	4° 13' 30,055" S	19	6	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
109	TB020	ANA	Valdemar da Silva Santana	Tabatinga	AM	69° 55' 49,133" W	4° 13' 35,103" S	12	11	-	-	-	-	Bombeando	0,5	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica
110	1300004158	CPRM	Wallace Menezes De Souza	Tabatinga	AM	69° 56' 29" W	04° 13' 31" S	18	10	101,6	-	-	-	Equipado	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-

7.2.1 – Identificação, localização e parâmetros selecionados para a estatística dos 121 poços constantes do SIG-ANA-PHA em Tabatinga (Continuação).

Item	Ponto	Órgão	Proprietário	Município	UF	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Altura da Boca (cm)	Diâmetro de Revestimento (mm)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Situação	Operação (h/dia)	Tipo de Bomba	Uso da Água	Tipo de Reservatório
111	130000426	CPRM		Tabatinga	AM	69° 56' 13" W	04° 16' 15" S	42	-	152,4	-	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento doméstico	-
112	130000427	CPRM		Tabatinga	AM	69° 56' 11" W	04° 13' 46" S	20	-	101,6	-	-	-	Equipado	-	-	Abastecimento doméstico	-
113	1300004788	CPRM		Tabatinga	AM	69° 28' 26" W	04° 00' 50" S	25	-	101,6	-	-	-	Bombeando	-	-	Abastecimento urbano	-
114	1300004789	CPRM		Tabatinga	AM	69° 28' 27" W	04° 00' 49" S	18	-	152,4	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento urbano	-
115	1300004790	CPRM		Tabatinga	AM	69° 56' 10" W	04° 14' 01" S	18	50	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
116	1300004791	CPRM		Tabatinga	AM	69° 56' 21" W	04° 13' 43" S	22	-	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
117	1300004820	CPRM		Tabatinga	AM	69° 31' 38" W	04° 02' 34" S	42	-	203,2	-	-	-	Abandonado	-	Bomba submersa	Sem uso	-
118	1300004821	CPRM		Tabatinga	AM	69° 31' 29" W	04° 02' 28" S	46	-	203,2	12,5	17,5	-	Parado	-	Bomba injetora	Abastecimento urbano	-
119	1300004822	CPRM		Tabatinga	AM	69° 56' 18" W	04° 13' 44" S	22	50	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
120	1300005705	CPRM		Tabatinga	AM	69° 55' 19" W	04° 13' 09" S	21	-	101,6	-	-	-	Bombeando	-	Bomba submersa	Abastecimento doméstico	-
121	TB002	ANA		Tabatinga	AM	69° 56' 16,204" W	04° 13' 50,961" S	-	20	-	-	-	-	Bombeando	-	-	Abastecimento doméstico	Caixa d'água Plástica

7.2.2 – Resumo das Características Técnicas de 64 Poços Catalogados de CPRM/SIAGAS 2010 em Tabatinga, dos quais 6 com Perfis Litológicos, 11 com Perfis Construtivos e 17 com Produtividade

7.2.2 – Poços Catalogados da CPRM/SIAGAS 2010 com Perfis Litológicos (6), Perfis Construtivos (11) e Produtividade (17) em Tabatinga – AM.

SIAGAS	UTM_E	UTM_N	Proprietário	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Diâmetro (mm)	Filtro			Litologia			NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)	Observação	Altura saturada (m)
							De	Até	Material	De	Até	Material					
1300000419	395682	9530174	INFRAERO	20	-	311,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300000421	396174	9531188	AABB	18	12	101,60	12,00	18,00	Plastico p.v.c. 4"	-	-	-	-	-	-	-	-
1300000423	396141	9532999	GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS	25	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300000424	396080	9532508	JOSE MESSIAS	18	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300000425	396018	9532723	HERTON A PINHEIRO DANTAS	18	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300000428	395218	9531524	SEBASTIÃO MARINHO	20	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300000429	395312	9530603	CEAM	23	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300000430	395250	9530726	CEAM	24	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300000431	395988	9531863	EXÉRCITO	24	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300000432	395927	9532016	EXÉRCITO	23	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004142	396164	9532778	PREFEITURA MUNICIPAL DE TABATINGA	22	-	76,20	-	-	-	-	-	4,77	-	-	-	-	-
1300004143	396123	9532752	PREFEITURA MUNICIPAL DE TABATINGA	22	-	152,40	-	-	-	-	-	4,77	-	-	-	-	-
1300004144	396042	9527864	COMUNIDADE UMARIAÇU I	35	35	152,40	11,00	19,00	Plastico geomecanico 6"	0	0,4	Solo	6	12,5	10	Após Estabilização	22,5
										0,4	7	Argila					
										7	19	Areia fina					
										19	23	Linhito					
										23	35	Argilito					
1300004145	396007	9528334	COMUNIDADE UMARIAÇU I	24	-	152,4	-	-	-	-	-	10,4	16	18	Após Estabilização	8	
1300004146	396038	9528342	COMUNIDADE UMARIAÇU I	30	30	152,4	20	28	Plastico geomecanico 6"	0	4	Argila	13	18	20	Após Estabilização	12
										4	21	Areia fina					
										21	22	Linhito					
										22	26	Argilito					
										26	30	Linhito					
1300004147	396076	9528020	COMUNIDADE UMARIAÇU I	18	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

7.2.2 – Poços Catalogados da CPRM/SIAGAS 2010 com Perfis Litológicos (6), Perfis Construtivos (11) e Produtividade (17) em Tabatinga – AM (Continuação).

SIAGAS	UTM_E	UTM_N	Proprietário	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Diâmetro (mm)	Filtro			Litologia			NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)	Observação	Altura saturada (m)
							De	Até	Material	De	Até	Material					
1300004148	395267	9528492	COMUNIDADE UMARIAÇU I	30	30	152,4	11	19	Plastico geomecanico 6"	0	7	Argila	3	15	12	Após Estabilização	15
										7	19	Areia fina					
										19	23	Linhito					
										23	30	Argilito					
1300004149	395311	9528488	COMUNIDADE UMARIAÇU I	30	-	152,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004150	395350	9528492	COMUNIDADE UMARIAÇU I	30	-	152,4	-	-	-	-	-	-	5,2	-	-	-	-
1300004151	395404	9528642	COMUNIDADE UMARIAÇU I	36	36	152,4	12	24	Plastico geomecanico 6"	0	0,5	Argila arenosa	10	-	-	-	-
										0,5	8	Argila					
										8	20	Areia fina					
										20	24	Areia média					
										24	30	Linhito					
										30	32	Arenito fino					
										32	36	Argilito					
1300004152	395423	9528622	COMUNIDADE UMARIAÇU I	35	-	152,4	-	-	-	-	-	-	10,4	-	-	-	-
1300004153	395312	9528364	COMUNIDADE UMARIAÇU I	30	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004154	395663	9530180	INFRAERO	23	12	152,4	12	23	Plastico p.v.c. 6"	-	-	-	11	15	1,8	Após Estabilização	8
1300004155	395661	9530178	INFRAERO	23	12	101,6	12	23	Plastico p.v.c. 4"	-	-	-	15	18	2	Após Estabilização	5
1300004156	395656	9530138	INFRAERO	104	-	152,4	-	-	-	-	-	-	8,7	-	-	-	-
1300004157	395665	9531402	ANTÔNIO CÉLIO MAIA COSTA	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004158	395534	9532914	WALLACE MENEZES DE SOUZA	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004159	395841	9530604	GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS	30	-	101,6	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
1300004160	395779	9530702	EXÉRCITO	20	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004161	395768	9530764	EXÉRCITO	20	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004162	396123	9531166	AABB	30	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004163	395958	9531888	EXÉRCITO	20	-	101,6	-	-	-	-	-	-	5,3	-	-	-	-
1300004164	395958	9531930	EXÉRCITO	18,3	-	101,6	-	-	-	-	-	-	5,3	-	-	-	-
1300004165	395330	9531874	MARINHA	22	-	101,6	-	-	-	-	-	-	10	-	3	Após Estabilização	-
1300004166	395452	9531946	MARINHA	22	-	203,2	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-
1300004167	396157	9531716	MARINHA	22	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004168	396468	9532600	NELSON DE PAULA	12	-	76,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004169	395936	9531440	LOJA MAÇONICA	18	-	1016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004170	396213	9532564	SUFRAMA	20	-	152,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

7.2.2 – Poços Catalogados da CPRM/SIAGAS 2010 com Perfis Litológicos (6), Perfis Construtivos (11) e Produtividade (17) em Tabatinga – AM (Continuação).

SIAGAS	UTM_E	UTM_N	Proprietário	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Diâmetro (mm)	Filtro			Litologia			NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)	Observação	Altura saturada (m)
							De	Até	Material	De	Até	Material					
1300004171	396468	9532528	1º IGREJA BATISTA REGULAR EM TABATINGA	27	-	101,6	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
1300004172	396125	9532808	CÂMARA MUNICIPAL DE TABATINGA	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	4,85	-	-	-	-
1300004173	396476	9533706	MARIA DE LOURDES MOURA MENDES	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004174	396577	9533530	CLAÚDIA BATALHA RODRIGUES	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004175	396898	9533486	GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS	40	-	152,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004176	397072	9533304	RAIMUNDO BATISTA AGUIAR	18	-	76,2	-	-	-	-	-	-	5,5	-	1,5	Após Estabilização	-
1300004177	396612	9533172	SHIRLEY WILLIAM DOS SANTOS	24	-	152,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004178	395789	9532706	GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	8	-	1,5	Após Estabilização	-
1300004179	395591	9531236	HAMILTON BATISTA DELGADO	18	6	101,6	6	18	Plástico p.v.c. 4"	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004180	396406	9531938	IGREJA BATISTA NACIONAL RENOVADA	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	3,8	-	1	Após Estabilização	-
1300004181	397246	9531972	ARQUIDIOCESE DE MANAUS	12	-	101,6	-	-	-	-	-	-	1,5	-	2,5	Após Estabilização	-
1300004182	396899	9531876	FRANCISCO VIEIRA DA SILVA	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	3,7	-	2	Após Estabilização	-
1300004183	397035	9531662	PREFEITURA MUNICIPAL DE TABATINGA	18	-	76,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004184	396809	9531488	CRISTOVAM CHAVES LOPES	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004185	396329	9532406	ADALBERTO BORGES DE OLIVEIRA	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004186	395886	9533050	LEONILHA PINTO BATISTA	18	9	101,6	9	18	Plástico p.v.c. 4"	0 3	3 18	Argila Areia média	4	-	-	-	-
1300004187	396332	9533496	COMUNIDADE FEIJOAL	24	-	152,4	-	-	-	-	-	-	4	7	2	Após Estabilização	17
1300004188	397501	9531658	FRANCISCO DOS SANTOS LEÃO	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	6	-	2	Após Estabilização	-
1300004189	395630	9532372	PREFEITURA MUNICIPAL DE TABATINGA	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004190	395191	9531402	JOÃO SOUZA DA SILVA	18	-	101,6	-	-	-	-	-	-	9,35	-	1	Após Estabilização	-

7.2.2 – Poços Catalogados da CPRM/SIAGAS 2010 com Perfis Litológicos (6), Perfis Construtivos (11) e Produtividade (17) em Tabatinga – AM (Continuação).

SIAGAS	UTM_E	UTM_N	Proprietário	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Diâmetro (mm)	Filtro			Litologia			NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)	Observação	Altura saturada (m)
							De	Até	Material	De	Até	Material					
1300004191	396239	9531312	COMUNIDADE FEIJOAL	25	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004790	396112	9531986	PREFEITURA MUNICIPAL DE TABATINGA	18	15	101,6	15	18	Plastico p.v.c. 4"	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004791	395771	9532529	CLÁUDIO BATISTA DE AGUIAR	22	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300004822	395860	9532520	CLÁUDIO BATISTA DE AGUIAR	22	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1300005705	397683	9533585	OSIAS MARQUES DIAS	21	-	101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

7.3 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012

7.3.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas em Tabatinga durante a primeira campanha de amostragem de água de 15 poços no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Longitude decimal	Latitude decimal	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	C.E. (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
TBT01	-69,9311	-4,2201	27,45	<5	4,7	35	277	4,95	5,41	24	10	7,89	2,1	1,59	0,89	1,38	1,38	0,08	4,07	<0,5	0	0	0,551	<0,02	<0,1	0,31	0,31	0,9	0	9
TBT02	-69,9275	-4,2219	27,80	<5	0,12	49	293,6	4,61	7,16	32	13	2,70	3,9	1,25	0,22	0,52	0,04	0,03	10,00	2,64	0	0	2,068	<0,02	<0,1	0,57	0,57	2,6	0	18
TBT03	-69,9244	-4,2299	26,00	<5	3,2	172	297,3	4,47	5,48	154	0	5,85	16,5	3,42	0,73	0,98	1,23	0,09	29,75	<1	0	0	6,42	<0,02	<0,1	0,28	0,28	6,7	0	0
TBT04	-69,9408	-4,2403	25,85	<5	<0,1	65	259	5,22	5,19	57	11	11,04	3,6	1,89	1,40	1,84	0,01	0,05	7,93	<0,5	1	1	2,511	<0,02	<0,1	0,29	0,29	2,8	0	10
TBT05	-69,9358	-4,2361	28,00	<5	0,40	44	269,6	4,75	7,27	39	6	3,79	3,2	1,29	0,16	0,82	0,05	0,05	4,20	<0,5	0	0	2,281	<0,02	<0,1	0,28	0,28	2,6	0	6
TBT06	-69,9431	-4,2347	26,60	<5	0,38	26	417	2,31	6,08	19	8	4,25	1,2	1,03	0,36	0,81	0,35	0,04	1,68	<0,5	0	0	0,917	<0,02	<0,1	0,44	0,45	1,4	0	8
TBT07	-69,9406	-4,2300	27,60	<5	0,99	146	325	4,79	7,10	139	11	16,75	13,3	2,69	1,86	2,95	0,04	0,09	16,72	<0,5	0	0	6,66	<0,02	<0,1	0,14	0,14	6,8	0	11
TBT08	-69,9280	-4,2377	26,80	<5	0,51	40	188,3	5,46	6,04	25	25	7,20	1,8	1,14	1,35	0,93	0,35	0,03	<2	<1	0	1	<0,2	<0,02	<0,1	0,19	0,20	<0,5	0	22
TBT09	-69,9283	-4,2268	27,90	<5	<0,1	20	263,7	4,57	7,41	12	<5	0,83	0,4	0,20	0,13	0,13	0,02	0,01	<1	<0,5	0	0	0,477	<0,02	<0,1	0,22	0,22	0,7	0	0
TBT10	-69,9280	-4,2342	27,10	<5	<0,1	36	236,7	5,67	7,13	28	<5	2,86	2,9	0,68	0,59	0,34	0,00	0,01	3,72	<0,5	0	0	1,578	<0,02	<0,1	0,16	0,17	1,7	0	0
TBT11	-69,9376	-4,2229	27,63	<5	0,26	36	242	5,36	7,31	32	18	4,91	2,1	1,74	1,10	0,53	0,02	0,03	<1	0,84	0	0	0,682	<0,02	<0,1	0,16	0,16	0,8	0	18
TBT12	-69,9369	-4,2269	28,25	5	4,5	112	234,7	5,84	7,82	80	41	29,89	5,5	1,37	11,00	0,58	0,35	0,38	8,88	5,58	1	1	0,76	<0,02	0,45	<0,1	0,54	1,3	0	35
TBT13	-69,9435	-4,2555	26,20	<5	4,6	81	280	4,85	6,27	81	<5	2,48	8,8	0,90	0,18	0,49	0,05	0,03	18,26	<0,5	0	0	1,947	<0,02	<0,1	0,19	0,19	2,1	0	0
TBT14	-69,9386	-4,2461	28,25	<5	2,9	73	167,6	5,53	6,10	62	25	10,50	6,1	1,82	1,74	1,50	1,21	0,12	7,35	<1	0	1	0,422	<0,02	<0,1	0,18	0,18	0,6	0	24
TBT15	-69,9373	-4,2329	26,10	<5	0,11	45	231	5,18	7,38	43	15	6,07	3,3	1,64	1,03	0,85	0,05	0,04	2,45	<1	0	0	1,248	<0,02	<0,1	0,20	0,20	1,4	0	15

7.3.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas em Tabatinga durante a segunda campanha de amostragem de água de 15 poços no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Longitude decimal	Latitude decimal	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	C.E. (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
TBT01	-69,9311	-4,2201	26,9	<5	<0,1	32	115	5,1	5,06	21	5	3,74	2,1	1,1	0,3	0,7546	0,0908	0,035	2,81	<0,5	0	0	0,759	<0,02	<0,1	0,10	0,10	0,9	0	5
TBT02	-69,9275	-4,2219	27,4	<5	2,8	69	150	4,6	5,88	50	16	7,34	1,8	2,5	0,7	1,383	16,688	0,094	0,91	<0,5	0	1	0,655	<0,02	<0,1	4,8	4,80	5,5	0	16
TBT03	-69,9244	-4,2299	28,5	<5	0,25	19	238	4,6	4,63	11	7	1,33	0,4	0,4	0,2	0,2181	<0,001	0,009	<0,5	<0,5	0	1	0,76	<0,02	<0,1	0,11	0,11	0,9	0	0
TBT04	-69,9408	-4,2403	27,8	<5	0,59	137	-30	5,8	5,62	97	13	13,37	13,6	3,0	2,0	2,019	0,0404	0,031	17,87	0,64	0	1	4,953	<0,02	<0,1	0,12	0,12	5,1	0	13
TBT05	-69,9358	-4,2361	33,5	<5	0,18	47	228	4,7	5,33	34	18	5,58	4,6	1,9	1,0	0,7787	0,0226	0,032	2,50	<0,5	0	0	1,28	<0,02	<0,1	0,10	0,10	1,4	0	18
TBT06	-69,9431	-4,2347	28,5	<5	<0,1	67	596	4,2	4,93	53	12	5,50	6,7	2,1	0,4	1,082	0,012	0,053	6,48	<0,5	0	0	3,973	<0,02	0,3	0,36	0,66	4,6	0	9
TBT07	-69,9406	-4,2300	28,5	<5	1,1	123	74	4,8	5,46	97	24	15,79	11,8	2,6	1,9	2,697	2,073	0,081	23,75	1,28	0	1	<0,2	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	24
TBT08	-69,9280	-4,2377	27,6	<5	0,43	47	242	6,1	5,86	34	25	7,94	5,8	1,5	1,6	0,9687	0,9011	0,031	<0,5	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	25
TBT09	-69,9283	-4,2268	30,4	<5	0,12	48	349	4,7	4,91	37	8	1,75	8,6	1,3	0,1	0,3721	0,0114	0,016	6,32	<0,5	0	0	3,165	<0,02	<0,1	0,11	0,11	3,3	0	8
TBT10	-69,9280	-4,2342	28,2	<5	<0,1	39	494	5,0	5,46	29	14	2,18	5,5	1,0	0,4	0,2977	0,0205	0,008	3,45	<0,5	0	0	1,331	<0,02	<0,1	0,28	0,28	1,6	0	14
TBT11	-69,9376	-4,2229	28,7	<5	2,3	167	274	4,8	4,73	120	<5	5,63	14,6	4,6	0,4	1,105	0,2583	0,085	25,80	1,78	0	0	7,12	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	7,1	0	0
TBT12	-69,9369	-4,2269	29,3	<5	0,35	107	237	5,2	6,08	76	23	15,72	9,5	1,1	5,7	0,3362	0,0104	0,643	11,71	5,66	0	0	0,817	<0,02	1,7	0,10	1,80	2,6	0	23
TBT13	-69,9435	-4,2555	26,0	<5	0,21	66	405	7,2	4,88	55	<5	3,33	8,6	1,2	0,2	0,6833	0,0571	0,038	10,33	<0,5	0	1	2,313	<0,02	0,6	0,12	0,72	3	0	0
TBT14	-69,9386	-4,2461	28,1	<5	<0,1	31	182	3,9	5,54	20	20	4,87	2,9	2,2	1,1	0,5017	0,00342	0,022	0,64	<0,5	0	0	0,567	<0,02	<0,1	0,10	0,10	0,7	0	20
TBT15	-69,9373	-4,2329	28,8	<5	<0,1	97	229	4,3	5,43	72	17	11,35	5,3	2,8	1,3	1,976	<0,001	0,042	6,02	<0,5	0	0	3,267	<0,02	<0,1	0,10	0,10	3,4	0	17

7.3.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas em Tabatinga durante a segunda campanha de amostragem de água de 15 poços no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Longitude decimal	Latitude decimal	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ ¹⁸ O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
TBT01	-69,9311	-4,2201	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT02	-69,9275	-4,2219	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT03	-69,9244	-4,2299	<0,001	0,0424	<0,001	0,0112	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,37 ± 0,14	-	-	-	-	-
TBT04	-69,9408	-4,2403	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT05	-69,9358	-4,2361	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT06	-69,9431	-4,2347	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT07	-69,9406	-4,2300	<0,001	0,1566	0,00401	0,0436	<0,001	<0,001	0,00171	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,33 ± 0,15	-	-	105,2±/-0,4 pMC	1,0524 +/- 0,0039	-23
TBT08	-69,9280	-4,2377	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,08 ± 0,14	-46,8	-6,87	-	-	-
TBT09	-69,9283	-4,2268	<0,001	0,0883	<0,001	0,0141	<0,001	<0,001	0,00822	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	0,97± 0,15	-31,7	-5,69	-	-	-
TBT10	-69,9280	-4,2342	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT11	-69,9376	-4,2229	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT12	-69,9369	-4,2269	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT13	-69,9435	-4,2555	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT14	-69,9386	-4,2461	<0,001	0,0927	<0,001	0,00668	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,33 ± 0,13	-	-	-	-	-
TBT15	-69,9373	-4,2329	<0,001	0,2308	<0,001	0,0548	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,09 ± 0,10	-39,1	-6,77	-	-	-

7.4 – Protocolo de Guia de Coleta de Amostras Bioagri Ambiental

Apresentação

Este guia fornece informações básicas sobre os procedimentos adequados de coletas e preservação de amostras aquosas e sólidas para análises ambientais.

Embora muitas vezes, problemas ambientais decorrentes ou não de atividade antrópica sejam facilmente perceptíveis, a real dimensão destes problemas somente pode ser mensurada a partir de análises laboratoriais realizadas em locais onde possuam os recursos materiais e humanos mínimos necessários, existindo a necessidade da coleta e preservação de amostras para análises em laboratórios especializados, ou talvez de medidas tomadas no campo utilizando-se de instrumentos adequados. Por este motivo, é muito importante obedecer a critérios técnicos cuidadosamente definidos, com coletas sendo realizadas por profissionais qualificados para a função, pois estas são de fundamental importância para que os resultados das análises sejam confiáveis e representem da forma mais próxima possível à realidade. Sem estes cuidados a avaliação da qualidade ambiental pode gerar informações incorretas, dando uma falsa impressão a respeito da realidade, podendo induzir decisões errôneas causando graves prejuízos à saúde humana e preservação do meio ambiente.

Hoje sabemos que a coleta e a preservação das amostras têm influência muito importante sobre os resultados das análises. Águas naturais encontram-se em um sensível equilíbrio dinâmico, onde diversas espécies químicas e biológicas se mantêm estáveis. O simples contato de uma amostra com as paredes no frasco de coleta não apropriado podem alterar a composição da amostra. Também a temperatura e a forma de preservação da amostra podem influenciar na composição material da amostra. É importante ressaltar, que existe um tempo entre a coleta das amostras e a efetiva realização das análises, que pode variar de horas a meses dependendo do tipo de parâmetro em questão. Isto reforça a necessidade da adoção de critérios rígidos para a preservação e armazenamento das amostras, evitando a possível perda das espécies presentes, principalmente por transformação em outras formas químicas.

Na **tabela 7.4.1** a seguir constam os parâmetros a serem analisados, o tipo de frasco para coleta de amostra, a forma de preservação e o tempo para a realização da análise para amostras aquosas. Na **tabela 7.4.2** constam os parâmetros a serem analisados, o tipo de frasco para coleta de amostra, a forma de preservação e o tempo para a realização da análise para amostras sólidas.

Na **tabela 7.4.3** constam preservação, prazo e frascos para análises biológicas e microbiológicas. Na **tabela 7.4.4** constam preservação, prazo e frascos para testes de toxicidade. Na **tabela 7.4.5** temos a quantidade de frascos requeridos para atendimento de algumas legislações, tendo em vista o agrupamento de parâmetros num mesmo frasco.

No **anexo A1** a sequência para uso das bolsas nasço e os esquemas dos frascos de coleta de amostras líquidas (**anexo A2**) e de amostras sólidas (**anexo A3**).

Tabela 7.4.1 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Águas e Efluentes.

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Volume de Amostra	Preservação/ Estocagem da Amostra	Prazo para Análise
Alcalinidade	Polietileno ou vidro	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 14 dias
Acidez	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 14 dias
Ácidos Haloacéticos	Vial	2 x 40 ml	Refrigerar a 4±2°C 4 mg de Cloridrato de amônio/ vial	14 dias até extração Após a extração 21 dias até análise
Bacteriologia	Polietileno ou vidro (Bolsa NASCO)	100 ml	Tiosulfato de Sódio e refrigerar a < 10°C	24 horas
Brometo	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Bromato	Polietileno ou vidro	100 ml	2 gotas EDA 5%	28 dias
Carbamatos	Vidro Âmbar	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Carbono Orgânico Total (TOC)	Vidro	100 ml	HCl até pH<2, refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Carbono Orgânico Dissolvido (COD)	Vidro	100 ml	Filtração membrana 0,45 µm HCl até pH<2, refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Cianeto	Polietileno ou vidro	1000 ml	NaOH 10N até pH >12, refrigerar a 4±2°C	14 dias
Clorato	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Cloreto	Polietileno ou vidro	250 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Clorito	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	14 dias
Cloro Total e Residual	Polietileno ou vidro	500 ml	Não requerida	O mais breve possível
Clorofila A	Vidro	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	5 dias até a extração e 15 dias a partir da extração
Coliformes Totais/Escherichia Coli	Bag ou frasco polietileno estéril	100 ml	Refrigerar a < 10°C	24 horas e 36 horas para águas tratadas
Condutividade Elétrica / Específica	Polietileno ou vidro	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Cor	Polietileno ou vidro	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Cromo Hexavalente	Polietileno ou vidro	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Polietileno ou vidro	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 7 dias
Demanda Química de Oxigênio (DQO) ⁽¹⁾	Polietileno ou vidro	100 ml	H ₂ SO ₄ até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 7 dias
Dureza Total	Polietileno ou vidro	100 ml	HNO ₃ ou H ₂ SO ₄ até pH<2	06 meses
Índice de Fenóis	Vidro âmbar	500 ml	H ₂ SO ₄ até pH< 4	28 dias
Fluoreto	Polietileno	100 ml	Não Requerida	28 dias
Fosfato (orto ²)	Polietileno ou vidro	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas

Tabela 7.4.1 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Águas e Efluentes (continuação).

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Volume de Amostra	Preservação/Estocagem da Amostra	Prazo para Análise
Fósforo Total	Polietileno ou vidro	100 ml	H ₂ SO ₄ até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Gás Carbônico (Dióxido de Carbono)	Polietileno ou vidro	100 ml	Não requerida	-
Glifosato	Polietileno ou vidro	100 ml	Não requerida	14 dias
Iodeto	Polietileno ou vidro	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Microcistina	Vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	15 dias
Metais Totais (exceto Cromo VI)	Polietileno	500 ou 1000 ml	HNO ₃ até pH<2	06 meses (exceto Hg = 28 dias)
Metais Solúveis	Mesmo que metais totais, porém a amostra deverá ser filtrada em membrana 0,45µm antes de ser preservada.			
Nitrogênio Amoniacal	Polietileno ou vidro	500 ml	H ₂ SO ₄ até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Nitrogênio Nitrato	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Nitrogênio Nitrito	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Nitrogênio Kjeldahl Total	Polietileno ou vidro	500 ml	H ₂ SO ₄ até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Odor	Polietileno	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	O mais breve possível
Óleos e Graxas ⁽³⁾	Vidro Âmbar	1.000 ml	HCl ou H ₂ SO ₄ até pH<2; Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Orgânicos Purgáveis (Purge and Trap)	Vidro (Vial)	2 x 40 ml	HCl 1:1 (4 gotas) Refrigerar a + 4°C Obs.: Caso a amostra contenha cloro residual livre este deve ser eliminado antes da adição do ácido através da adição de 4 gotas de solução de tiosulfato de sódio a 10%.	07 dias s/ preserv. 14 dias c/preserv.

Tabela 7.4.1 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Águas e Efluentes (continuação).

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Volume de Amostra	Preservação da Amostra	Prazo para Análise
Organoclorados e PCB's em água	Vidro âmbar, tampa rosqueável de teflon ou Plástico	2.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	07 dias até a extração 40 dias após a extração
Oxigênio Consumido	Polietileno ou vidro	150 ml	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Oxigênio Dissolvido	Vidro de boca estreita e tampa esmerilhada	300 ml	2 ml de sulfato manganoso e 2 ml de reagente alcali-iodeto azida	8 horas (preferencialmente medida em campo com aparelho portátil)
Pesticidas	Vidro âmbar	1000 ml	Refrigerar a 4±2°C	07 dias até a extração 40 dias após a extração
pH	Polietileno ou vidro	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	06 horas (preferencialmente medida em campo)
Radioatividade	Vidro âmbar	100 ml	HNO ₃ até pH<2	1 ano
Série de Sólidos	Polietileno ou vidro	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	07 dias
Sólidos Sedimentáveis	Polietileno ou vidro	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	07 dias
Sílica	Polietileno	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Sulfato	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Sulfeto (idem para sulfeto de hidrogênio)	Polietileno ou Vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C; adicionar 04 gotas de Acetato de Zinco 2N e NaOH até pH>9	07 dias
Sulfito ⁽⁴⁾	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Surfactantes	Polietileno ou vidro	250 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Turbidez	Polietileno ou vidro	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Matriz analítica (Vinhaça)	Polietileno ou Vidro	2.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	

- (1) Para efluentes com óleos vegetais ou gelatinas, não acidular, mantendo apenas a refrigeração.
- (2) Imediatamente após a coleta filtrar a amostra com membrana 0,45 µ . Este procedimento reduz a conversão de fosfatos condensados em ortofosfatos pela remoção de material suspenso e microbiológico, o qual pode catalisar a reação.
- (3) Não encher completamente o frasco.
- (4) Encher o frasco completamente, evitando contato com o ar.

Tabela 7.4.2 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Solos e Sedimentos.

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Quantidade de Amostra (g)	Preservação/Estocagem da Amostra	Prazo para Análise
Orgânicos Voláteis	Frasco de Vidro de Boca Larga	Preencher o Frasco até a Boca 200g	Resfriar a 4±2°C	14 dias
Orgânicos Semi Voláteis	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Dioxinas e Furanos	Frasco de Vidro de Boca Larga	500	Resfriar a 4±2°C	não se aplica
Pesticidas Organoclorados (Bioagri Ambiental)	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
PCB's	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Compostos Organofosforados	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Metais (Exceto Cr VI)	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	28 dias para Hg 180 dias para outros metais
Cromo VI	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	30 dias para digestão Análise em até 4 dias após extração
Cianetos	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias
Sulfeto	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	7 dias

Tabela 7.4.3 - Preservação, prazo para análise e frascos a serem utilizados sem amostras para análises biológicas e microbiológicas.

Variável biológica	Item	Preservação/Estocagem da Amostra	Prazo para análise	Frascos
Perifiton	Contagem e identificação	Formaldeído neutralizado a 4- 5% ou FAA (formol, ácido acético glacial e álcool) ou solução de Transeau (6:3:1) ou mertiolato (1:1000) ou lugol acético 3 – 5% para flagelados	a) um ano b)seis meses c)seis meses	Vidro âmbar ou polietileno
	Clorofila e Feofitina	Refrigerar e encaminhar ao laboratório o mais rápido possível	24 h oras	Vidro âmbar ou polietileno
	Contagem proporcional de espécies diatomáceas	Formaldeído neutralizado a 4 ou 5%	Seis meses	Vidro âmbar ou polietileno
Zooplâncton	Contagem e identificação	Além do formaldeído neutralizado a 40%, outros fixadores podem ser usados como etanol a 7% ou solução de lugol. O formaldeído pode causar distorção em algumas formas de retíferos. Para evitar evaporação, juntar à amostra 5% de glicerina. Em amostras turvas será útil acrescentar 0,04% do corante rosa de bengala.	Um ano	Vidro ou polietileno
Cianobactérias	Polietileno ou vidro	1.000 ml	Lugol refrigerado 4±2°C	06 meses

Tabela 7.4.4 - Preservação, prazo para análise e frascos a serem utilizados sem amostras para testes de toxicidade.

Organismo teste	Tipo de amostra	Teste	Volume de amostra	Preservação/ Estocagem	Frascos
Algas	Águas ou efluentes	Toxicidade aguda / crônica	1.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Daphnia	Águas ou efluentes	Toxicidade aguda	1.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Ceriodaphnia	Águas ou efluentes	Toxicidade crônica	1.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Peixes	Águas	Toxicidade crônica	5.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Peixes	Efluentes	Toxicidade aguda	20 Litros	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
		Toxicidade crônica	5.000 ml		
Microtox	Águas ou efluentes	Toxicidade aguda	1.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno

Referências Bibliográficas

1. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st edition, APHA / AWWA / WEF, New York.
2. Markert, B. , 1994. Environmental Sampling for Trace Analysis, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany.
3. Agudo, E.G. et al. , 1987. Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo.
4. NBR 9897 / ABNT - Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores.
5. NBR 9898 / ABNT - Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores.
6. NBR 10007/ABNT – Amostragem de resíduos, 2° edição, versão 2004.
7. EPA - Surface Impoundment Study – Section N°B2 – 18/04/2000.
8. EPA SW 846 – Chapter Two – Choosing the correct procedure.
9. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
10. EPA SW 846 – Method 9065 Phenolics (Spectrometric, Manual 4-AAP With Distillation)

Tabela 7.4.5 - Quantidade mínima de amostra para atendimento de algumas legislações e métodos – Amostras Aquosas

Tipo	Vidro Âmbar	Vidro Âmbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidro Âmbar	Vial	Plástico	Plástico	Plástico	Bolsa Nasco	Vidro	Vidro	Medidas de Campo
Volume	1000ml	1000ml	500ml	500ml	500ml	1000ml	40ml	500ml	100ml	100ml	100ml	100ml	100ml	
Preservação	-----	H ₂ SO ₄ pH < 2	H ₂ SO ₄ pH < 2	HNO ₃ pH < 2	NaOH pH > 12	HCl pH < 2	4 gotas HCl 50%	Acetato de Zinco	-----	2gotas EDA 5%	-----	Lugol	HNO ₃ 30%	
Temperatura	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	
Legislação														
NTA 60	2		1	1	1						2			pH
Conama 357/05 Artigos 14, 15 ou 16	5	1		1	1	1	2	1	1	1	1	1		pHO.D.
Conama 357/05 Artigo 34	2	1		1	1	1	2	1		1				pHTemp.
Portaria 518/04 MS	3		1	1	1		2	1	1	1	2		1	pH Cl Livre
Artigo 18 Decreto 8468/76	2	1		1	1	1				1				pHTemp.
Artigo 19-A Decreto 8468/76	1	1	1	1	1	1		1						pHTemp.
Artigo 11 Decreto 8468/76	2	1		1	1	1		1			2			pH O.D.
Metais (**)				1										
VOC (EPA 8260) (30 compostos)							2							
SVOC (EPA 8270)	2													
Demais SVOC	1 a 3 (*)													
Diretiva 98 CEE	5		1	1	1		2	1		1	2			pH
EPA Drinking Water (MCL's)	5		1	1	1		2	1		1	2			pH

(*) Dependendo do limite de quantificação desejado

(**) Metais: Filtrado ou não dependendo do estudo, exceto Cromo VI.

Tabela 7.4.5 - Quantidade mínima de frascos necessários para atendimento de algumas legislações e métodos – Amostras Sólidas (continuação).

Tipo	Vidro de Boca Larga (Tipo Frasco de Palmito) ou Pote Plástico	Vidro de Boca Larga (Tipo Frasco de Palmito)	Vidro de Boca Larga com tampa metálica
Volume do Recipiente e Massa Mínima Requerida	500 ou 1000ml (mínimo de 0,5kg de amostra)	500 ou 1000ml (mínimo de 0,5kg de amostra)	100ml (Deverá ser preenchido completamente com a amostra)
Temperatura	Refrig.	Refrig.	Refrig.
Legislação/Método			
NBR 10004 – Classificação de Resíduos Sólidos	1 (*)		
Metais e outros parâmetros inorgânicos	1		
VOC's (EPA 8260)			1
SVOC's (EPA 8270)		1	
Demais Compostos Orgânicos		1	

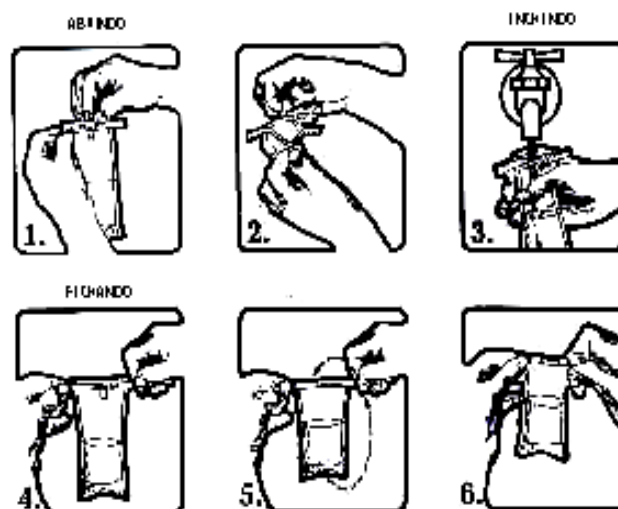
(*) deverá ser garantido pelo menos 500g de amostra na base seca.

Anexo A1 - Sequência para utilização das bolsas nasco

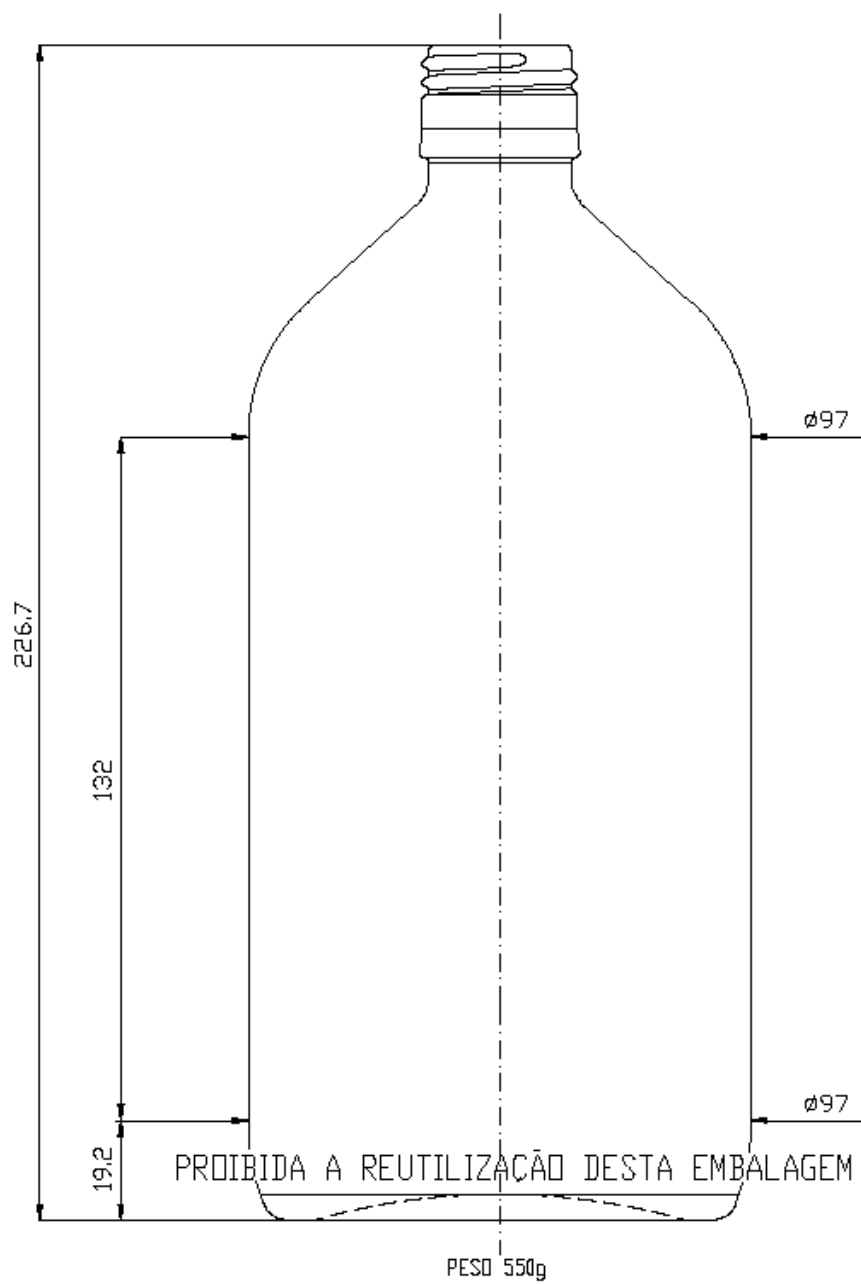
Procedimento para coletar amostras de águas utilizando a bolsa descartável THIO-bag Nasco:

- Rasgar o picote no topo da bolsa;
- Puxar as tiras laterais para abrir a bolsa sem tocar com as mãos na boca;
- Encher a bolsa até a marca de 100 ml;
- Puxar os arames para fechar a bolsa;
- Girar a bolsa em torno do arame 2 à 3 vezes;
- Dobrar os arames para manter a bolsa fechada.

Antes da coleta deve-se flambar a torneira ou se necessário limpar com solução de hipoclorito de sódio 2 % e mantê-la aberta, após a coleta manter a bolsa em temperatura de aproximadamente $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ em recipiente limpo e desinfetado.



Anexo A2 - Esquema dos frascos de coleta – Amostras Líquidas



Anexo A3 - Esquema dos frascos de coleta – Amostras Sólidas

