

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA
Contrato 002/ANA/2011



*ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (RMN)*

Relatório Final - RF
Volume 1 - Avaliação Hidrogeológica

Maio/2012

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 (Diretor-Presidente)

Dalvino Troccoli Franca

Paulo Lopes Varella Neto

João Gilberto Lotufo Conejo

Paulo Rodrigues Vieira

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos(Coordenação)

Ricardo Medeiros de Andrade

Humberto Cardoso Gonçalves

Gerência de Águas Subterrâneas

Fernando Roberto de Oliveira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Flávio Soares do Nascimento (Gestor)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Marco Vinicius Castro Gonçalves

Leonardo de Almeida

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização

Flávio Soares do Nascimento (ANA)
Adriana Niemeyer Pires Ferreira (ANA)
Paula Stein (SEMARH-RN)
Natalina Maria Tinoco Cabral (SEMARH-RN)
Carlos Alberto Martins (SEMARH-RN)
Elmo Marinho de Figuerêdo (SEMARH-RN)
Glauca Regina Luz Xavier da Costa (IGARN)
Marcelo Augusto de Queiroz (CAERN)
Joana D'Arc Freire de Medeiros (SEMARH-RN)

Elaboração e Execução

SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.

Maurício Prado Alves – Diretor Técnico
Mateus Delatim Simonato – Gerente do Contrato

Equipe Executora

João Carlos Simanke de Souza - Coordenador

Alessandra Marega Motta	Frederico Presotto
Altair Tadeu Alexandre	Juliana F. da Silva Cabral
Ana Cecília Hardt	Janete Monteiro de Souza
André Souza Cabral	Janny Juliana de Macêdo
Andressa Araújo	Jorge Penaranda Salgado
Antônio Carlos Lima Pereira	Lidjia Bruna Siqueira da Silva
Bruno Cesar Saraiva Dantas	Marcelo Freitas Marques
Bruno Pirilo Conicelli	Marcio Costa Abreu
Cícero André de Araújo Neto	Maria Anísia de Castro Pereira
Claudete Rodrigues de Souza	Mateus Delatim Simonato
Eduardo Pereira da Silva Junior	Maurício Prado Alves
Elaine Cristina da Cunha	Rejanne Alves da Silva França
Emanuel S. P. L'Apicciarella	Robson da Silva Rodrigues Trettel
Flávio Luiz Monteiro	Tereza Cristina Falcão

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA

Contrato 002/ANA/2011

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (RMN)

RELATÓRIO FINAL

Volume 1 Avaliação Hidrogeológica

Maio 2012

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
Gerência de Águas Subterrâneas - GESUB

Elaboração e execução:
SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.
Av. Ceci, 2206, Planalto Paulista
CEP: 04.065-004, São Paulo – SP
Tel: 11 5070-6955
Endereço eletrônico: <http://www.servmarambiental.com.br>

Capa:
Fotografia – Mateus Delatim Simonato
Local da Foto – Parque das Dunas, Via Costeira, Natal/RN
Diagramação e Arte – Daniel Delatim Simonato

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

Estudos Hidrogeológicos para a Orientação do Manejo das
Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Natal.

Volume 1 – Apêndices

Brasília: ANA, 2012

1. Recursos Hídricos
2. Aquífero Barreiras
- I. Agência Nacional de Águas - ANA
- II. SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	ÁREA DE ESTUDO	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1	Geologia Regional.....	19
3.2	Geologia da RMN.....	26
3.3	Contexto Tectono-Estrutural da RMN.....	32
3.4	Hidrogeologia da RMN.....	35
4	ESTUDOS CLIMATOLÓGICOS E AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA.....	44
4.1	Estudos Climatológicos.....	44
4.2	Avaliação Hidrológica.....	69
5	CADASTRO DE POÇOS.....	79
5.1	Levantamento de dados e desenvolvimento do cadastro.....	79
5.2	Metodologia de desenvolvimento do banco de dados.....	83
5.3	Apresentação e análise de dados do cadastro de poços.....	87
5.4	Apresentação e discussão dos dados de poços outorgados.....	97
6	CONSTRUÇÃO DE POÇOS TUBULARES: POÇOS EXPLORATÓRIOS E POÇOS DE OBSERVAÇÃO.....	100
6.1	Nísia Floresta – Lagoa Amarela.....	103
6.2	Ceará-Mirim – Fazenda São Mateus.....	115
6.3	Extremoz – Granja Confiança (Loteamento Caminho do Mar).....	126
7	TESTES DE AQUÍFERO.....	137
7.1	Teste de aquífero 1 – Lagoa Amarela (Nísia Floresta).....	144
7.2	Teste de aquífero 2 – Fazenda São Mateus (Ceará-Mirim).....	149
7.3	Teste de aquífero 3 – Loteamento Caminho do Mar (Extremoz).....	154
7.4	Considerações sobre os resultados dos parâmetros hidrodinâmicos e síntese dos resultados.....	159
8	REDE DE MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE ÁGUA E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	162
8.1	Critérios para seleção de áreas de interesse.....	164
8.2	Critérios para seleção de poços para a rede de monitoramento qualitativa.....	165
8.2.1	Metodologia para seleção de poços para a rede de monitoramento qualitativa.....	166
8.2.2	Demonstrativo da seleção de pontos para a rede de monitoramento qualitativa.....	167
8.3	Seleção de poços para a rede de monitoramento específica.....	171
8.4	Seleção de poços para a rede de monitoramento quantitativa.....	173
9	NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO.....	179

9.1	Equipamentos e <i>softwares</i> utilizados	181
9.2	Estações GPS de referência	182
9.3	Aquisição dos dados (georreferenciamento dos pontos)	182
9.4	Geração de arquivos de dados digitais	183
9.5	Coordenadas das estações de referência	184
9.6	Cotas topográficas e coordenadas dos pontos georreferenciados	185
10	MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA.....	190
11	MAPA POTENCIOMÉTRICO E FLUXO SUBTERRÂNEO	198
11.1	Campanhas de medição do nível potenciométrico e variações de carga	198
11.2	Limitações apresentadas na caracterização do fluxo subterrâneo do Sistema Aquífero Barreiras na RMN.....	204
11.3	Caracterização do fluxo subterrâneo e zonas de recarga e descarga de águas subterrâneas.....	204
11.4	Relações hidráulicas das águas superficiais com as águas subterrâneas.....	208
12	RECARGA, RESERVAS, POTENCIALIDADES, DISPONIBILIDADES E EXPLOTAÇÃO ATUAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	210
12.1	Os Recursos Hídricos Subterrâneos na RMN	210
12.1.1	Caracterização e uso das unidades do sistema hidrogeológico da RMN	211
12.1.2	Potencialidades dos aquíferos e exploração das águas subterrâneas nos municípios da RMN.....	222
12.2	Parâmetros Hidráulicos do Sistema Aquífero Barreiras.....	224
12.2.1	Dimensões, litologia e estrutura do Sistema Aquífero Barreiras	225
12.2.2	Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras na RMN.....	238
12.3	Reservas.....	254
12.3.1	Reservas Reguladoras.....	254
12.3.2	Reservas Permanentes.....	261
12.4	Disponibilidades de água subterrânea	264
12.5	Recarga das águas subterrâneas	266
12.5.1	Método climatológico	267
12.5.2	Aplicação da lei de Darcy no meio poroso saturado.....	267
12.5.3	Método da variação de carga.....	269
12.5.4	Método de traçadores (Trítio).....	270
12.5.5	Método de hidrologia de superfície	270
12.5.6	Abordagem sobre as técnicas utilizadas na avaliação da recarga e discussão dos resultados.....	271
12.5.7	Potencialidades e recursos exploráveis.....	273
13	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL	276
14	MAPA HIDROGEOLÓGICO	281

FIGURAS

Figura 2.1. Localização da Região Metropolitana de Natal.....	4
Figura 3.1. Estudos que abrangem a Região Metropolitana de Natal.....	7
Figura 3.2. Compartimentações geotectônicas do Estado do Rio Grande do Norte (CPRM, 2003).....	20
Figura 3.3. Bacia Costeira PE/PB/RN e principais estruturas (adaptado de Lima Filho, 1999).....	21
Figura 3.4. Geologia da RMN.....	31
Figura 3.5. Compartimentação tectono-estrutural da RMN.....	34
Figura 3.6. Unidades aquíferas da RMN.....	43
Figura 4.1. Regime pluviométrico na Região Metropolitana de Natal.....	45
Figura 4.2. Precipitação média anual na RMN.....	47
Figura 4.3. Precipitação média anual na RMN.....	49
Figura 4.4. Pluviometria média mensal na Região Metropolitana de Natal.....	49
Figura 4.5. Pluviometria anual para o período entre 1911 e 2010 na Região Metropolitana de Natal.....	51
Figura 4.6. Temperatura média mensal (°C).....	53
Figura 4.7. Evaporação total mensal (mm).....	53
Figura 4.8. Insolação total (horas e décimos).....	53
Figura 4.9. Umidade relativa do ar (%).....	53
Figura 4.10. Tipos de solo na RMN (adaptado de CPRM, 2003).....	56
Figura 4.11. Declividade do terreno na RMN.....	58
Figura 4.12. Classificação do potencial de escoamento superficial.....	59
Figura 4.13. Zoneamento para o cálculo do balanço hídrico climatológico.....	61
Figura 4.14. Evapotranspiração potencial e real da Zona 1 – Classe 1.....	64
Figura 4.15. Balanço hídrico da Zona 1 – Classe 1.....	64
Figura 4.16. Evapotranspiração potencial e real da Zona 2 – Classe 1.....	65
Figura 4.17. Balanço hídrico da Zona 2 – Classe 1.....	65
Figura 4.18. Recarga potencial na Região Metropolitana de Natal.....	67
Figura 4.19. Balanço hídrico para a Classe 7 (Zona 2) na RMN.....	68
Figura 4.20. Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana de Natal.....	71
Figura 5.1. Distribuição da origem dos dados do cadastro.....	81
Figura 5.2. Cadastro de Poços da Região Metropolitana de Natal.....	82
Figura 5.3. Visualização de página do banco de dados em Access.....	83
Figura 5.4. Distribuição dos tipos de fontes de captação por município da RMN.....	87

Figura 5.5. Tipos de Fontes da Região Metropolitana de Natal	88
Figura 5.6. Quantidade de fontes por tipos de uso	90
Figura 5.7. Poços Tubulares com Perfil Litológico na Região Metropolitana de Natal	92
Figura 5.8. Frequência acumulada das vazões específicas do Aquífero Barreiras	95
Figura 5.9. Distribuição das outorgas entre os municípios da RMN.....	97
Figura 5.10. Cadastro de poços outorgados na RMN.....	99
Figura 6.1. Croqui de localização dos poços perfurados no entorno da Lagoa Amarela - Nísia Floresta	103
Figura 6.2. Perfil geológico e construtivo do PE da Lagoa Amarela	107
Figura 6.3. Perfil geológico e construtivo do PO-01 da Lagoa Amarela - Nísia Floresta	110
Figura 6.4. Perfil geológico e construtivo do PO-02 da Lagoa Amarela – Nísia Floresta	113
Figura 6.5. Perfil esquemático do PE e poços de observação PO-01 e 02 de Nísia Floresta - Lagoa Amarela	114
Figura 6.6. Croqui de localização dos poços perfurados na Fazenda São Mateus - Ceará-Mirim	115
Figura 6.7. Perfil geológico e construtivo do PE da Fazenda São Mateus – Ceará-Mirim	118
Figura 6.8. Perfil geológico e construtivo do PO-01 da Fazenda São Mateus – Ceará-Mirim	121
Figura 6.9. Perfil geológico e construtivo do PO-02 Fazenda São Mateus – Ceará-Mirim	124
Figura 6.10. Perfil geológico esquemático do PE e dos poços de observação PO-01 e 02 de Ceará-Mirim - Faz. São Mateus.....	125
Figura 6.11. Croqui de localização dos poços perfurados e pré-existentes em Extremoz – Loteamento Caminho do Mar	126
Figura 6.12. Perfil geológico e construtivo do PE do Lot. Caminho do Mar - Extremoz .	129
Figura 6.13. Perfil geológico e construtivo do PO-01 do Loteamento Caminho do Mar - Extremoz.....	132
Figura 6.14. Perfil geológico e construtivo do existente na Granja Confiança (PO-02)..	135
Figura 6.15. Perfil geológico esquemático do PE do PO-01 e 02 (Granja Confiança) do Lot. Caminho do Mar - Extremoz.....	136
Figura 7.1. Localização dos testes de aquífero executados na RMN	138
Figura 7.2. Monitoramento do nível d'água nos poços do teste 1, Lagoa Amarela/Nísia Floresta: (a) PE (NZF0404); (b) PO-01 (NZF0405); (c) PO-02 (NZF0406)	142
Figura 7.3. Monitoramento do nível d'água nos poços do teste 2, Fazenda São Mateus/Ceará-Mirim: (a) PE (CRM0552); (b) PO-01 (CRM0553); (c) PO-02 (CRM0554)	143
Figura 7.4. Monitoramento do nível d'água nos poços do teste 3, Loteamento Caminho do Mar/Extremoz: (a) PE (EXT0274); (b) PO-01 (EXT0275)	144

Figura 7.5. Correlação entre os poços do teste de aquífero 1 (Lagoa Amarela – Nísia Floresta).....	145
Figura 7.6. Curva de rebaixamento versus tempo no teste de aquífero 1: (a) PE (NZF0404); (b) PO-01 (NZF0405) e; (c) PO-02 (NZF0406).....	147
Figura 7.7. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-01 (NZF0405) no gráfico $W(u,r/L) \times 1/u$ para aquíferos semiconfinados.....	148
Figura 7.8. Correlação entre os poços do teste 2 (Faz. São Mateus – Ceará-Mirim).....	150
Figura 7.9. Curva de rebaixamento versus tempo do teste de aquífero 2: (a) PE (CRM0552); (b) PO-01 (CRM0553) e; (c) PO-02 (CRM0554)	151
Figura 7.10. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-01 (CRM0553) no gráfico $W(u,r/L) \times 1/u$ para aquíferos semiconfinados.....	152
Figura 7.11. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-02 (CRM0554) no gráfico $W(u,r/L) \times 1/u$ para aquíferos semiconfinados.....	152
Figura 7.12. Correlação entre os poços do teste 3 (Loteamento Caminho do Mar – Extremoz).....	155
Figura 7.13. Curva de rebaixamento versus tempo do teste de aquífero 3: (a) PE (EXT0274); (b) PO-01 (EXT0275) e; (c) PO-02 (EXT0273).....	156
Figura 7.14. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-02 (EXT0273) no gráfico $W(u_A, u_B, \beta) \times 1/u$ para aquíferos livres	157
Figura 7.15. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-01 (CRM0553) no gráfico $W(u,r/L) \times 1/u$ para aquíferos semiconfinados.....	158
Figura 8.1. Rede de monitoramento dos níveis d'água e da qualidade das águas	163
Figura 9.1. Nivelamento topográfico da rede de monitoramento de nível d'água.....	189
Figura 10.1. Cargas hidráulicas obtidas nas duas campanhas de medição de nível d'água na Região Metropolitana de Natal	197
Figura 11.1. Mapa potenciométrico do SAB na RMN (out-nov de 2011).....	203
Figura 12.1. Localização das seções hidrogeológicas.....	215
Figura 12.2. Seção hidrogeológica AA'.....	216
Figura 12.3. Seção hidrogeológica BB'.....	216
Figura 12.4. Seção hidrogeológica CC'	217
Figura 12.5. Seção hidrogeológica DD'	217
Figura 12.6. Seção hidrogeológica EE'.....	218
Figura 12.7. Seção hidrogeológica FF'.....	218
Figura 12.8. Espessura da formação Barreiras na RMN.....	227
Figura 12.9. Localização da seção hidrogeológica BB' do aquífero Barreiras na bacia do rio Doce (SERHID, 2004)	228
Figura 12.10. Seção hidrogeológica do Sistema Aquífero Barreiras na bacia do rio Doce (SERHID, 2004)	229

Figura 12.11. Localização da seção hidrogeológica S-4 do aquífero Barreiras na bacia do rio Maxaranguape (SEMARH, 2010)	230
Figura 12.12. Seção hidrogeológica S-4 do Sistema Aquífero Barreiras na direção oeste-leste na bacia do rio Maxaranguape (SEMARH, 2010)	231
Figura 12.13. Localização da seção hidrogeológica BB' no vale do rio Ceará-Mirim, RN (DINIZ, 1999)	232
Figura 12.14. Perfil hidrogeológico BB'' na bacia do rio Ceará-Mirim (DINIZ, 1999)	233
Figura 12.15. Localização dos poços produtores da bateria da lagoa do Bonfim que abastece a Adutora Monsenhor Expedito (SERHID, 1998b)	237
Figura 12.16. Esquema do funcionamento hidráulico do Sistema Aquífero Barreiras no setor ocidental da lagoa do Bonfim (SERHID, 1998b)	237
Figura 12.17. Transmissividade do sistema do aquífero Barreiras na RMN	239
Figura 12.18. Localização do sistema poço–piezômetro múltiplo utilizado no teste de aquífero na localidade de Gramorezinho (P1-pz1-pz2), Natal (MELO <i>et al.</i> 2009)	245
Figura 12.19. Perfis litológicos e construtivos de poço de bombeamento e sistema múltiplo de piezômetros em Gramorezinho/Natal (MELO <i>et al.</i> 2009)	246
Figura 12.20. Curva rebaixamento tempo - Pz2 - Método de Walton, aquíferos semiconfinados drenantes, Gramorezinho/Natal (MELO <i>et al.</i> 2009)	246
Figura 12.21. Perfil litológico e construtivo do poço PP1	250
Figura 12.22. Aplicação do método de Walton aos dados de rebaixamento do piezômetro situado a 20 m do poço PP1	251
Figura 12.23. Descargas das reservas reguladoras que alimentam um curso de água .	256
Figura 12.24. Curva de recessão do hidrograma de fluxo	257
Figura 12.25. Caracterização da recessão na bacia do rio Pirangi	257
Figura 12.26. Recessão na bacia hidrográfica do rio Pirangi (2000).....	258
Figura 12.27. Recessão na bacia hidrográfica do rio Pirangi (2001).....	258
Figura 13.1. Modelo conceitual do Sistema Aquífero Barreiras	280
Figura 14.1. Hidrogeologia da RMN	284

TABELAS

Tabela 2.1. Perfil dos municípios da Região Metropolitana de Natal em 2010	3
Tabela 3.1. Instituições contatadas para obtenção de dados de interesse	6
Tabela 3.2. Recursos hídricos das unidades aquíferas da RMN	42
Tabela 4.1. Postos pluviométricos e estações climatológicas na RMN.....	46
Tabela 4.2. Precipitações médias mensais na RMN.....	47
Tabela 4.3. Precipitação média anual na RMN.....	48
Tabela 4.4. Dados climatológicos das estações de Natal e Ceará-Mirim.....	52
Tabela 4.5. Coeficientes de escoamento superficial.....	57
Tabela 4.6. Classificação do potencial de escoamento superficial	57
Tabela 4.7. Dados climáticos utilizados no balanço hídrico	60
Tabela 4.8. Estimativa de recarga pelo método climatológico para as zonas climáticas 1 e 2 da RMN.....	66
Tabela 4.9. Características das lagoas do sistema lacustre do Bonfim	76
Tabela 4.10. Bacias hidrográficas inseridas na área de estudo.....	78
Tabela 5.1. Vazão média dos poços por finalidade de uso (m ³ /h)	90
Tabela 5.2. Espessuras das unidades litoestratigráficas	93
Tabela 5.3. Parâmetros Hidrogeológicos dos Poços do Cadastro	94
Tabela 5.4. Quantidade dados hidroquímicos pré-existentes	96
Tabela 5.5. Vazão requerida na outorga conforme uso da água	98
Tabela 7.1. Resumo das informações dos testes de aquífero executados na RMN	140
Tabela 7.2. Resumo dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos nos testes de aquífero do Sistema Aquífero Barreiras realizados na RMN	161
Tabela 8.1. Identificação e valores de critérios de seleção de poços	166
Tabela 8.2. Simbologia para classificação do poço	167
Tabela.8.3. Identificação e valores de critérios de seleção de poços	167
Tabela 8.4. Rede de monitoramento	168
Tabela 8.5. Pontos de águas superficiais	171
Tabela 8.6. Características dos poços da rede de monitoramento quantitativa	174
Tabela 9.1. Coordenadas geodésicas da estação de referência	184
Tabela 9.2. Erro das coordenadas da estação de referência.....	184
Tabela 9.3. Dados do levantamento topográfico	185
Tabela 10.1. Dados das campanhas de monitoramento quantitativo.....	192
Tabela 11.1. Variação das cargas hidráulicas dos monitoramentos	200
Tabela 11.2. Vazão do fluxo subterrâneo	206

Tabela 12.1. Dados utilizados para definição dos regimes de operação dos poços	212
Tabela 12.2. Características das unidades hidrogeológicas na RMN	214
Tabela 12.3. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Ceará-Mirim	241
Tabela 12.4. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Extremoz	242
Tabela 12.5. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de S. G. do Amarante	243
Tabela 12.6. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Macaíba	244
Tabela 12.7. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Natal	247
Tabela 12.8. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Monte Alegre	248
Tabela 12.9. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Parnamirim	249
Tabela 12.10. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de S. J. do Mibu	252
Tabela 12.11. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Nísia Floresta	253
Tabela 12.12. Deflúvios da bacia hidrográfica do rio Pirangi (m ³ /s)	257
Tabela 12.13. Reservas reguladoras e reservas permanentes do SAB nos municípios da RMN	263
Tabela 12.14. Volume explorado e recarga urbana do SAB	265
Tabela 12.15. Recarga do Sistema Aquífero Barreiras na RMN	271
Tabela 12.16. Síntese dos valores obtidos para recarga com diferentes técnicas	273
Tabela 12.17. Potencialidades e recursos exploráveis do SAB na RMN	274

FOTOS

Foto 1. Perfuração do PE e PO-01 de Nísia Floresta - Lagoa Amarela, em 01/11/2011	104
Foto 2. PE de Nísia Floresta concluído, tubo de fechamento e marca da ranhura do nivelamento topográfico	104
Foto 3. Pré-filtro na embalagem	105
Foto 4. Aspecto do pré-filtro	105
Foto 5. Amostras da perfuração	106
Foto 6. Descrição das amostras	106
Foto 7. PO-01 da Lagoa Amarela - Nísia Floresta: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico	108
Foto 8. PO-02 da Lagoa Amarela - Nísia Floresta: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico	111
Foto 9. Descida do revestimento no PE da Fazenda São Mateus – Ceará-Mirim.....	116
Foto 10. PE Faz. São Mateus - Ceará-Mirim: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico	116
Foto 11. PO-02 Fazenda São Mateus - Ceará-Mirim: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico	122
Foto 12. PE Loteamento Caminho do Mar – Extremoz: acabamento construtivo e marca do nivelamento topográfico	127
Foto 13. Aplicação do pré-filtro no PE utilizando tubo auxiliar	128
Foto 14. PO-01 Loteamento Caminho do Mar – Extremoz: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico.....	130
Foto 15. PO-02 Loteamento Caminho do Mar – Extremoz: poço existente utilizado como poço de observação e marca da ranhura do nivelamento topográfico	133
Foto 16. Medição de vazão dos testes de aquífero com tambor aferido 215 L	137
Foto 17. Medição do nível de água no PE do teste 3	139
Foto 18. Medição do nível de água no PO-01 do teste 3.....	139
Foto 19. Nivelamento topográfico com GPS Geodésico em poço cacimba	180
Foto 20. Destaque da sinalização do entalhe do nivelamento topográfico.....	180
Foto 21. Marca de sinalização do entalhe do nivelamento topográfico	180

VOLUMES

Volume 1 – Avaliação Hidrogeológica

Volume 2 – Avaliação da Urbanização e de Outras Atividades Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas

Volume 3 – Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas

Volume 4 – Apêndices

Volume 5 – Mapas na escala 1:100.000

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório, elaborado pela Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda., corresponde ao Relatório Final dos Estudos Hidrogeológicos para a Orientação do Manejo das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Natal (RMN), contratado pela Agência Nacional de Águas – ANA (Contrato N° 002/2011).

As atividades relativas aos estudos hidrogeológicos foram desenvolvidas no período de 21 de fevereiro de 2011 a 21 de maio de 2012, portanto 15 meses, cujos resultados obtidos e aprovados foram compilados neste relatório final em cinco volumes.

Este Volume 1 – Avaliação Hidrogeológica apresenta as atividades executadas, os dados obtidos, as discussões, as interpretações e os resultados alcançados sobre os seguintes temas:

Revisão Bibliográfica: compila o levantamento de dados bibliográficos e cartográficos existentes sobre a RMN, apresentando e discutindo os principais resultados alcançados em estudos, pesquisas e relatórios técnicos, principalmente sobre a hidrogeologia, geologia e tectônica da área de estudo.

Estudos Climatológicos e Avaliação Hidrológica: organiza e seleciona os dados climatológicos levantados em diversos bancos de dados disponíveis, a partir dos quais foi calculado o balanço hídrico climatológico e efetuado um estudo preliminar de recarga, bem como apresenta a avaliação hidrológica das bacias hidrográficas da RMN, a partir de dados existentes.

Cadastro de Poços: apresenta os dados e as estatísticas das informações registradas no cadastro de poços elaborado neste estudo que compila cerca de 4.500 poços (tubulares, cacimbas e piezômetros) e mais de 120 mil dados, incluindo também registros de nascentes.

Construção de poços tubulares: apresenta os perfis construtivos e litológicos dos poços exploratórios e piezômetros (poços de observação), construídos com a finalidade de executar testes de aquíferos, demonstrando e discutindo a metodologia de perfuração, materiais e procedimentos.

Testes de Aquífero: descreve a metodologia e os procedimentos executivos dos ensaios de bombeamento prolongados, apresenta os dados medidos em campo e as metodologias utilizadas nas interpretações dos testes e discute os parâmetros hidráulicos do aquífero, obtidos como resultado desses ensaios de campo.

Rede de Monitoramento dos Níveis de Água e da Qualidade das Águas: apresenta os fundamentos e a metodologia utilizada na seleção dos 215 pontos das redes de monitoramento, bem como a representatividade, a finalidade do monitoramento e os dados de interesse sobre cada ponto de amostragem e/ou medição.

Nivelamento Topográfico: apresenta a metodologia utilizada na medição das cotas topográficas e no tratamento dos dados coletados com uso de GPS Geodésico nos 100 pontos da rede de monitoramento de nível de água.

Medição dos Níveis de Água: demonstra e ilustra o procedimento de medição do nível de água, apresenta os resultados medidos em campo e o cálculo das cargas hidráulicas dos 100 pontos da rede de monitoramento de nível de água.

Mapa Potenciométrico e Fluxo Subterrâneo: apresenta os dados utilizados na elaboração dos mapas potenciométricos, a interpretação sobre os fluxos subterrâneos do Sistema Aquífero Barreiras (SAB) na RMN, a identificação das áreas de recarga e descarga do SAB, bem como as interações dos fluxos subterrâneos com os corpos hídricos superficiais.

Recarga, Reservas, Potencialidades, Disponibilidades e Exploração Atual das Águas Subterrâneas: apresenta e discute as metodologias utilizadas nos cálculos desses parâmetros quantitativos do SAB na RMN, bem como as interpretações alcançadas a partir do dimensionamento dos recursos hídricos avaliados.

Modelo Hidrogeológico Conceitual: a partir da análise e compreensão dos dados existentes sobre características físicas, parâmetros hidráulicos e o comportamento de fluxo das águas subterrâneas é apresentado e discutido o modelo conceitual hidrogeológico do SAB na RMN.

Mapa Hidrogeológico da RMN: consiste na representação cartográfica de todo entendimento sobre a hidrogeologia da RMN, incluindo a caracterização, discussão e interpretação da dinâmica das águas subterrâneas e o dos aquíferos existentes.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a Região Metropolitana de Natal (RMN) e situa-se na microrregião do Litoral Oriental do Estado do Rio Grande do Norte. A **Figura 2.1** apresenta a área estudada, que possui uma superfície de 2.724 km² e inclui integralmente o município de Natal, capital do estado, e outros oito municípios, que são Ceará-Mirim, Extremoz, São Gonçalo do Amarante, Macaíba, Parnamirim, Monte Alegre, São José de Mipibu e Nísia Floresta.

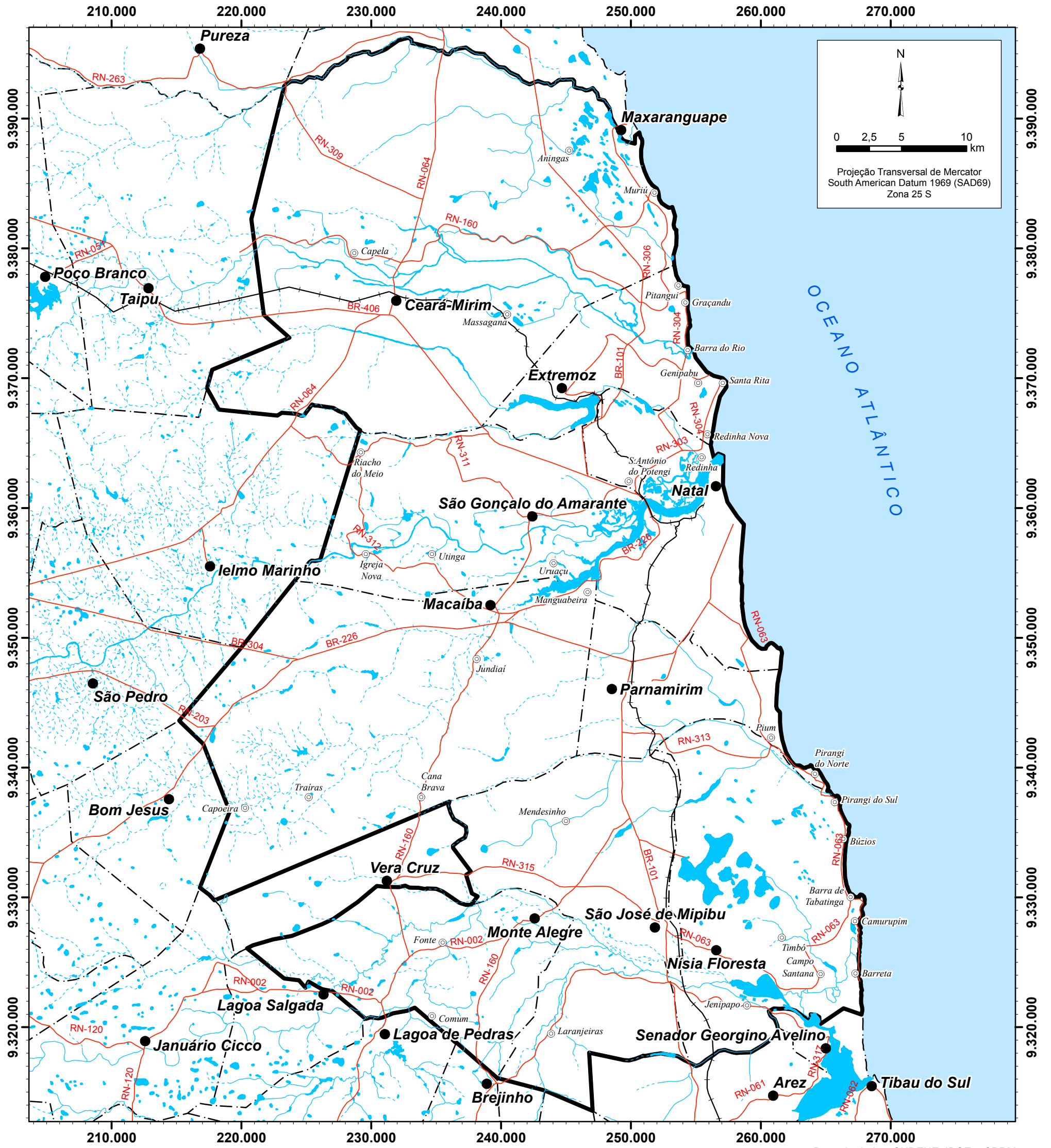
A Região Metropolitana de Natal é delimitada a leste pelo Oceano Atlântico e a oeste pelos municípios vizinhos à área de estudo (Taipu, Ielmo Marinho, São Pedro, Bom Jesus, Vera Cruz e Lagoa Salgada). O limite norte da RMN é delimitado pelo município de Maxaranguape e ao sul por Senador Georgino Avelino e Arês.

A principal via de acesso à área estudada é uma das rodovias mais importantes do Brasil, a BR-101 que corta a RMN e permite a entrada na região pelos limites norte e sul. No limite oeste, as principais vias de acesso são a rodovia BR-406, que permite o acesso à RMN por Ceará-Mirim, e, entrando na área por Macaíba, estão as rodovias BR-226 e BR-304, está última ligando a RMN à Mossoró.

A população da RMN totaliza mais de 1,3 milhão de habitantes (IBGE, 2010), sendo que 90% são residentes nas áreas urbanas (**Tabela 2.1**). Natal e Parnamirim que são os municípios mais populosos, somente possuem ocupação urbana e, juntos, representam 75% da população total da RMN. Apesar de mais populosos, esses municípios são os menores em extensão territorial, denotando densidades demográficas muito diversificadas na região. Os municípios de Ceará-Mirim, Macaíba e Nísia Floresta possuem as maiores extensões e, juntos, representam apenas 12% da população.

Tabela 2.1. Perfil dos municípios da Região Metropolitana de Natal em 2010					
Município	Área (km²)	Área da sede (km²)	População total	População urbana (sede)	População rural
Natal	167,16	108,58	803.739	803.739	0
Parnamirim	123,59	22,19	202.456	202.456	0
S. Gonçalo do Amarante	249,12	3,13	87.668	74.099	13.569
Macaíba	510,75	2,53	69.467	42.631	26.836
Ceará-Mirim	724,38	4,56	68.141	35.494	32.647
S. José de Mipibu	290,33	1,98	39.776	18.232	21.544
Extremoz	139,57	1,5	24.569	15.769	8.800
Nísia Floresta	307,84	1,28	23.784	9.380	14.404
Monte Alegre	211,34	1,23	20.685	9.002	11.683
Total RMN	2.724,08	146,98	1.340.285	1.210.802	129.483

Fonte: IBGE, 2010



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- ⊙ Povoados ou assentamentos
- Ferrovia
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

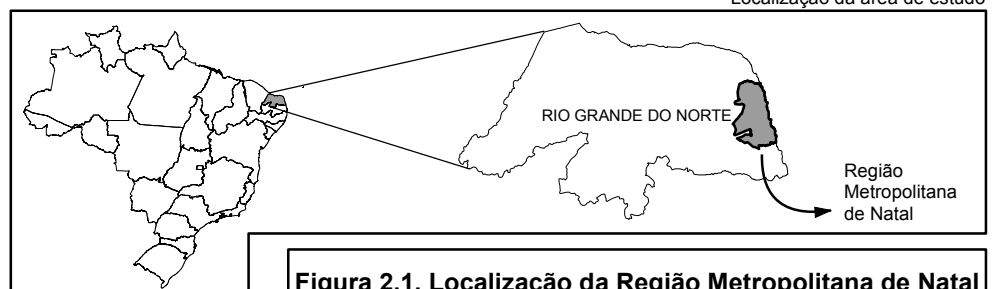


Figura 2.1. Localização da Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O levantamento e a análise dos dados bibliográficos e cartográficos corresponderam à fase de formação do conhecimento e da base de dados, permitindo o desenvolvimento das atividades e dos resultados alcançados nesse estudo.

Esse levantamento consistiu na obtenção e compilação sistematizada de informações disponíveis em relatórios técnicos, estudos acadêmicos e bancos de dados, relativas às características climáticas, hidrológicas, hidrogeológicas, hidroquímicas, de infraestrutura sanitária, de uso e ocupação do solo, de fichas de poços, de análises químicas, de testes de bombeamento, além de fotografias aéreas, imagens de satélite e de outros elementos necessários à compreensão e caracterização da Região Metropolitana de Natal – RMN.

Os dados foram obtidos em formatos variados, nas diversas fontes de informações existentes nos órgãos públicos, nas instituições de pesquisa e ensino, em banco de informações publicamente disponíveis e nos bancos de dados de empresas privadas.

O volume de dados obtidos relativos à RMN, perfaz mais de 5.000 itens entre fichas de poços, relatórios técnicos, artigos, arquivos eletrônicos diversos, laudos analíticos, entre outros. Todas as fichas de poços e os laudos analíticos que, em número, constituem a maioria dos documentos adquiridos foram digitalizados, consistidos e unificados em um banco de dados disponível em plataforma Access.

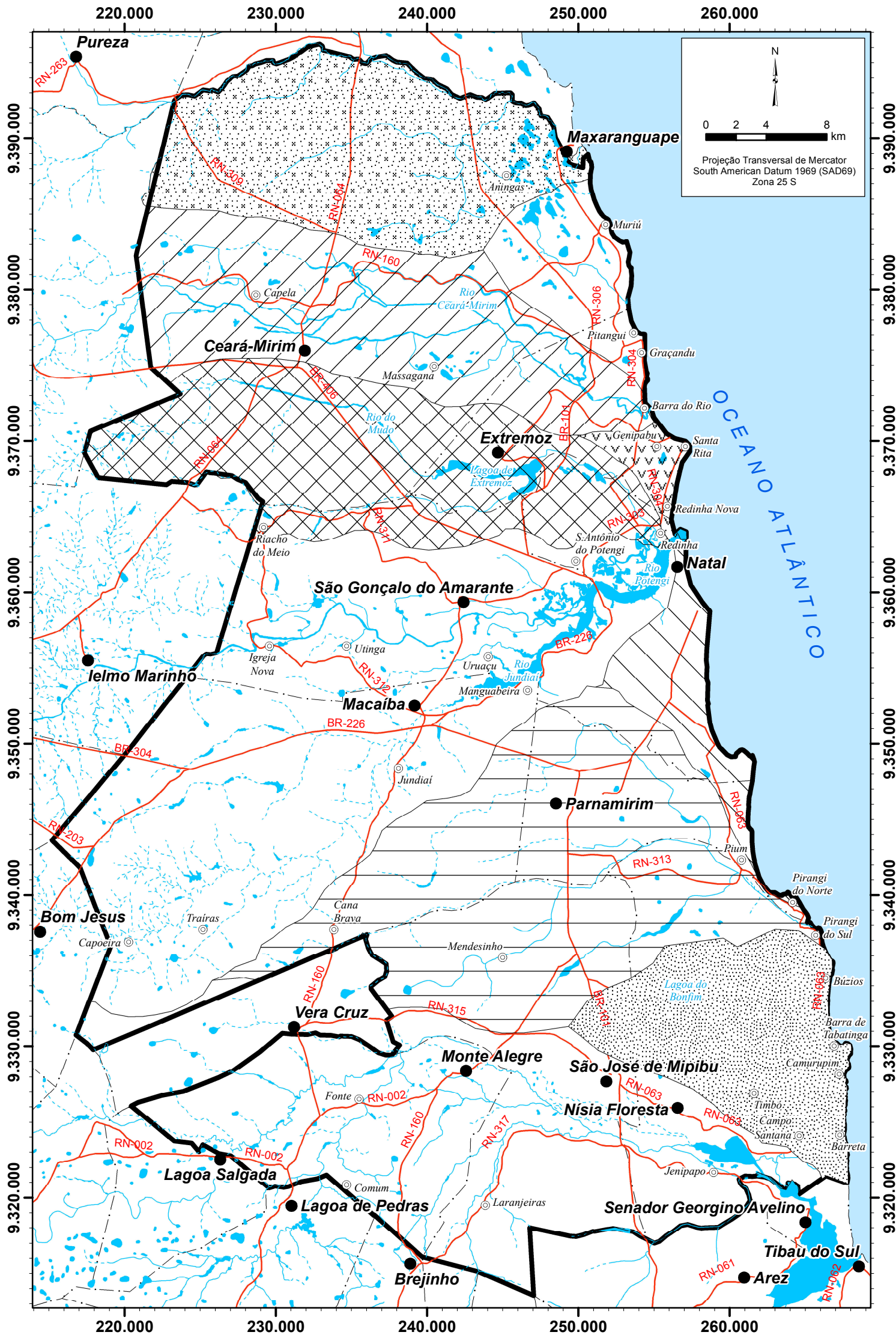
Os mapas adquiridos foram digitalizados, compilados e sistematizados em um banco de dados georreferenciado, constituindo assim a base cartográfica utilizada no desenvolvimento do estudo.

A **Tabela 3.1** demonstra as principais instituições consultadas para a obtenção dos dados, bem como o modo de acesso às informações, tipos de dados consultados e a aplicabilidade dos dados ao projeto.









Essas buscas resultaram em uma relação de estudos técnicos, relatórios e trabalhos acadêmicos extremamente vasta, impossibilitando a apresentação pormenorizada de todos esses documentos. Dessa maneira, é apresentada uma síntese dos estudos que representam a evolução do conhecimento da área de interesse até o estágio atual. A **Figura 3.1** ilustra as áreas de abrangência dos estudos de maior relevância à base do conhecimento sobre a RMN.

Tabela 3.1. Instituições contatadas para obtenção de dados de interesse









Instituição	Principais Dados Obtidos	Modo de Pesquisa	Objetivos
SEMARH	Informações sobre as fontes de captação, perfis construtivos e litológicos de poços tubulares, dados de análises físico-químicas, bases cartográficas, trabalhos técnicos.	Visitas técnicas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Entendimento da geologia, estrutural, geometria e hidroquímica dos aquíferos; ➤ Avaliação hidrológica; ➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos; ➤ Reconhecimento de áreas com ocorrência de contaminação principalmente por nitrato.
CAERN	Informações sobre as fontes de captação, perfis construtivos e litológicos de poços tubulares da companhia, dados de análises físico-químicas, trabalhos técnicos, infraestrutura sanitária.	Visitas técnicas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Entendimento da geologia, estrutural, geometria e hidroquímica dos aquíferos; ➤ Avaliação hidrológica. ➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos; ➤ Reconhecimento de áreas com ocorrência de contaminação, principalmente por nitrato; ➤ Abrangência das redes de abastecimento de água, drenagem urbana e esgotamento sanitário.
CPRM	Bases cartográficas (geologia, hidrogeologia, estrutural, recursos natural), informações sobre as fontes de captação, dados de análises físico-químicas, trabalhos técnicos.	Sítio na internet	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Entendimento da geologia, estrutural e geometria dos aquíferos. ➤ Hidroquímica da água subterrânea.
IDEMA	Mapa de uso e ocupação do solo, imagens de satélite, cadastro de empreendimentos, EIA-RIMA	Visitas técnicas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Entendimento da ocupação urbana. ➤ Detalhamento da geologia e hidrogeologia.
EMPARN	Dados climatológicos e informações agropecuárias	Visitas técnicas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Caracterização climatológica da área de estudo; ➤ Avaliação preliminar da demanda por recursos hídricos.
INMET	Dados climatológicos e fluviométricos	Sítio na internet	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Caracterização climatológica da área de estudo. ➤ Avaliação hidrológica.
EMBRAPA	Modelo digital de terreno	Sítio na internet	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elaboração da carta topográfica e entendimento da fisiografia da área.
IGARN	Dados hidroquímicos das águas subterrâneas.	Visita técnica	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Caracterização hidroquímica; ➤ Reconhecimento de áreas com ocorrência de contaminação, principalmente por nitrato.



Referências Bibliográficas

-  **Bacia do Rio Maxaranguape**
Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Maxaranguape (SEMARH, 2010).
-  **Bacia do Rio Ceará-Mirim**
-Recursos Hídricos Subterrâneos no Médio e Baixo Curso da Bacia do Rio Ceará-Mirim (Diniz Filho, 1999).
-  **Bacia do Rio Pirangi**
-Implicação da Compartimentação Estrutural no Aquífero Barreiras na Bacia do Rio Pirangi (Lucena, 2005).
-Estudo Hidrológico e Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi (Lucena, 2001).
-  **Bacia do Rio Doce**
-Águas Subterrâneas no Curso Inferior da Bacia do Rio Doce/RN-Subsídios para um Gerenciamento Integrado (Castro, 2000).
-Qualificação da Oferta Hídrica da Lagoa de Extremoz (SERHID, 2004)
-  **Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso**
-Avaliação de Nitrito e Metais Pesados em Águas Subterrâneas da Cidade de Natal/RN (Nascimento, 2001).
-Avaliações Sobre a Ocorrência de Águas Subterrâneas na APA/Genipabu - Extremoz/RN (Diniz Filho, 2008).
-  **Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso**
Estudo Hidrogeológico de Natal (CAERN, 1970)
-Reconhecimento Hidrogeológico e Estudo sobre a Qualidade atual das Águas Subterrâneas da Grande Natal (IPT/SEPLAN, 1981)
-Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana de Natal (CAERN, 1983c).
-Avaliação das possibilidades de Infiltração de Efluentes Domésticos no Aquífero Dunas (CAERN, 1988).
-Análise da Contaminação por Nitrito no Aquífero Livre e Semi Confinado na Área Urbanizada de Natal (Figueiredo, 1990).
-Impactos do Desenvolvimento Urbano nas Águas Subterrâneas de Natal, RN (Melo, 1995).
-Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal (CAERN, 1995).
-Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal, Zona Norte (CAERN, 1998).
-Contaminação das Águas Subterrâneas por Nitrito e sua Relação com a Estrutura Hidrogeológica nos Bairros de Pirangi e Ponta Negra, Natal/RN (Carvalho Junior, 2001)
-O Avanço da Contaminação por Nitrito nas Águas Subterrâneas da Zona Sul de Natal/RN (Vasconcelos, 2002).
-Cadastramento e Nivelamento de Poços do Aquífero Barreiras no Município de Natal/RN (SERHID, 2005).
-  **Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso**
-Estudo da Disponibilidade Hídrica da Lagoa do Bonfim (SERHID, 1997).
-Pesquisa Hidrogeológica do Complexo Lagunar do Bonfim (SERHID, 1998b).
-Avaliação e Exploração do Aquífero Dunas-Barreiras na Região do Sub-Sistema Lacustre do Bonfim-RN (Manoel Filho e Castro, 2002).
-Estudo de Identificação, Avaliação de Alternativas de Captação e Elaboração de Projeto Básico para a Captação das Águas da Adutora Monsenhor Expedito (SERHID, 2002).
-  **Toda a Área em Estudo**
-Estudo Hidrogeológico Regional Detalhado do Estado do Rio Grande do Norte (IPT, 1982).
-Bacia Potiguar. Boletim da Petrobras (Feijó, 1994).
-Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID, 1998a)
-Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do Estado do Rio Grande do Norte (CPRM, 2005).
-Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, escala 1:500.000 (CPRM, 2006).
-Deformação Rúptil em Depósitos da Formação Barreiras na Porção Leste da Bacia Potiguar (Nogueira et al, 2006).
-Revisão Geológica, Estratigráfica e Litológica da Bacia Potiguar e da Bacia Costeira PE/PB/RN (Pessoa Neto et al, 2007 e Córdoba et al, 2007).

Convenção Cartográfica

-  Sedes municipais
-  Povoados ou assentamentos
-  Estradas pavimentadas
-  Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
-  Rios intermitentes
-  Rios perenes
-  Limites municipais
-  Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



Figura 3.1. Estudos que abrangem a Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLOGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



- Estudo Hidrogeológico de Natal/RN. CAERN, 1970.

Aparentemente trata-se do primeiro estudo moderno desenvolvido sobre a hidrogeologia de Natal. A área estudada é da ordem de 100 km² e corresponde praticamente à zona sul da cidade de Natal. O autor admite a existência de duas unidades aquíferas: uma superior, do tipo livre, representada pelas Dunas, e uma inferior, semi-confinada, correspondente aos arenitos dos sedimentos Barreiras. As reservas renováveis e explotáveis do aquífero foram avaliadas em 45 milhões de m³/ano. O consumo de água foi avaliado em 20 milhões de m³/ano e foram feitos prognósticos para uma demanda d'água da ordem de 55 milhões de m³/ano para o ano 2000. Foram apresentados dados sobre os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero e sobre qualidade química das águas, porém de forma um tanto elementar, o que em parte se justifica, já que o número de informações existentes sobre poços na época era bastante reduzido.

- Reconhecimento Hidrogeológico e Estudo sobre a Qualidade atual das Águas Subterrâneas da Grande Natal. IPT/SEPLAN, 1981.

Admite também a existência de duas unidades aquíferas independentes: o aquífero Dunas, do tipo livre e o aquífero Barreiras, definido como do tipo confinado. Mostra que alguns poços, especialmente poços do sistema público, na época, já estavam afetados por teores de nitrato elevado com taxas superiores aos padrões recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que era de 45 mg/L. A contaminação foi considerada pontual e atribuída a má construção do poço ou mais especificamente, a cimentação inadequada dos mesmos. É um dos primeiros trabalhos que chama atenção para o problema da contaminação das águas subterrâneas de Natal por nitrato. É um trabalho muito bem elaborado e se constituiu numa ferramenta importante na avaliação da origem e evolução da contaminação das águas subterrâneas.

- Estudo Hidrogeológico Regional do Estado do Rio Grande do Norte. IPT/SIC, 1982.

Trata-se de um dos mais completos estudos hidrogeológicos realizados no Estado do Rio Grande do Norte, em escala regional. Apresenta descrição pormenorizada das unidades litoestratigráficas e hidrogeológicas que compõem a Bacia Potiguar e a Bacia Costeira RN/PE/PB (denominada no relatório de Bacia da Costa Leste), assim como traz informações sobre o embasamento cristalino.

Apresenta dados hidrodinâmicos dos aquíferos obtidos em estudos pretéritos e no âmbito do projeto. Além disso, apresenta diversos mapas temáticos que auxiliam no entendimento da geometria dos depósitos sedimentares, do fluxo das águas subterrâneas e suas características hidroquímicas.

De maneira geral e sucinta, o aquífero Barreiras apresenta aumento de espessura de oeste para leste, de caráter semiconfinado, sobreposto a um aquífero livre formado pelos depósitos de dunas. No domínio da Bacia da Costa Leste (Bacia Costeira PE/PB/RN), o aquífero Barreiras atinge na linha de costa espessuras total e saturada acima de 100 m e 50 m, respectivamente. O fluxo da água subterrânea do aquífero Barreiras é predominantemente de oeste para leste, ou seja, do interior do continente para o Oceano Atlântico, que se caracteriza como principal exutório da bacia. As drenagens, principalmente na porção média e inferior das bacias, também se configuram como importantes zonas de descarga do aquífero Barreiras. São indicados valores máximos de vazão específica para o aquífero Barreiras da ordem de 50 m³/h/m.

As reservas reguladoras e permanentes do aquífero Barreiras na Bacia da Costa Leste foram estimadas, respectivamente, em 470 milhões de m³/ano e 27.110 milhões de m³.

As águas do aquífero Barreiras são naturalmente de excelente qualidade, tanto para o consumo humano como para o uso na irrigação, entretanto, pontualmente já apresenta contaminação por nitrato nos centros urbanos e comunidades rurais, que foi associada a ineficiência da proteção sanitária dos poços.

➤ Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana de Natal. CAERN, 1983c.

Estudo realizado para a Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN), apresentando um acervo de dados geológicos e hidrogeológicos disponíveis na época, tendo como objetivo principal a avaliação do aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Natal, a avaliação das suas reservas e potencialidades, além de estabelecer um planejamento adequado para o seu aproveitamento.

A área estudada foi de 600 km², com ênfase em uma área de 130 km² que envolve a zona sul da cidade de Natal. Admite, também, a individualização de duas unidades aquíferas: o aquífero Dunas, livre, e o aquífero Barreiras, semiconfinado. As reservas do aquífero Dunas foram reavaliadas em 65 milhões de m³, 20 milhões a mais do que em 1970. Os recursos renováveis foram reavaliados em 46 milhões de m³/ano. Considerando a descarga dos poços que era na época de 23,5 milhões m³/ano, o autor admite a possibilidade de duplicar este valor, construindo-se novas captações convenientemente locadas. O autor concluiu o relatório prevendo uma demanda futura de 126 milhões de m³/ano para abastecer uma população estimada de 1.500.000 habitantes no ano 2000, somente na cidade de Natal (observa-se que a RMN atualmente apresenta 1.340.465 habitantes e 803.739 somente em Natal segundo dados do IBGE, 2010). As avaliações sobre os recursos de águas subterrâneas são feitos

tomando por base parâmetros hidrodinâmicos de estudos anteriores, principalmente o trabalho desenvolvido pela CAERN, 1970.

- Avaliação das Possibilidades de Infiltração de Efluentes Domésticos no Aquífero Dunas. CAERN, 1988.

Os autores concluem pela existência de dois aquíferos individualizados Dunas e Barreiras, porém constata uma grande conexão hidráulica entre estas duas unidades aquíferas.

O trabalho retrata um quadro preocupante quanto à contaminação das águas subterrâneas por nitrato, porém, a contaminação ainda é considerada pontual e atribuída a má construção dos poços.

- Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal/RN. CAERN, 1995.

A área estudada corresponde à zona sul da cidade de Natal cuja superfície investigada foi de 90 km². É abordado o problema da contaminação das águas subterrâneas por nitrato. Com base na análise hidrodinâmica o autor verificou que as unidades hidráulicas Dunas e Barreiras constituem um sistema hidráulico único, complexo e indiferenciado, livre, para o qual propõe a designação de sistema aquífero Dunas/Barreiras.

Neste trabalho o autor mostra que a contaminação por nitrato já se desenvolve em áreas extensas do domínio urbano e a mesma é atribuída à própria vulnerabilidade do sistema aquífero que seria afetado pelas cargas contaminantes lançadas no terreno.

Trata-se de um trabalho que propõe uma nova concepção para o modelo hidrogeológico conceitual e apresenta um diagnóstico sobre a origem e mecanismos de contaminação das águas subterrâneas. Apresenta uma inovação ao admitir um sistema único Dunas/Barreiras, considerando-o como aquífero livre e admite influência da urbanização na recarga local da área estudada. Estima a potencialidade do Dunas/Barreiras em 70 milhões de m³/ano quando era utilizado 52 milhões m³/ano pela CAERN, (1995), sem considerar reservas permanentes. Admite que as lagoas situadas no Jiqui, Pirangi e Ponta Negra são fontes de recarga do sistema. Diagnostica a contaminação como cumulativa e irreversível, associando-a com a expansão urbana recomendando a preservação do San Vale como área de recarga no município de Natal.

- Impactos do Desenvolvimento Urbano nas Águas Subterrâneas de Natal, RN. Melo, 1995.

Desenvolvida com base nos estudos hidrogeológicos e de contaminação das águas subterrâneas da zona sul de Natal executados pela CAERN no período de 1993 a 1995. Inova no diagnóstico sobre a origem e mecanismos de contaminação das águas subterrâneas, assim como uma nova concepção de modelo conceitual considerando os aquíferos Dunas e Barreiras como um sistema aquífero único, intrinsecamente associados.

- Estudo da Disponibilidade Hídrica da Lagoa do Bonfim. SERHID, 1997.

Foi um estudo que objetivou a avaliação das condições de exploração das águas superficiais da lagoa do Bonfim para abastecimento público das sedes e distritos municipais da região do litoral, com base nas características da lagoa e sua correlação hidrogeológica. Esse estudo aponta para a viabilidade de exploração com vazões de até 500 l/s.

- Pesquisa Hidrogeológica do Complexo Lagunar do Bonfim. SERHID, 1998b.

Estudo complementar ao descrito acima (Estudo da Disponibilidade Hídrica da Lagoa do Bonfim). Permitiu definir a capacidade de exploração de 07 (sete) poços produtores no aquífero Barreiras. Define um modelo conceitual para o aquífero Barreiras no entorno da Lagoa com a existência de duas unidades aquíferas distintas, uma superior até a profundidade da ordem de 49 m de caráter livre, e uma inferior, confinada com profundidade média de 39 m, separadas por uma camada argilosa de 6 m de espessura com características de aquitarde.

- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. SERHID, 1998a.

Caracterização hidrogeológica dos aquíferos do Rio Grande do Norte. Este relatório engloba uma síntese da hidrogeologia dos sistemas aquíferos do RN. O relatório síntese do plano desenvolveu um estudo com foco na identificação e consolidação dos conhecimentos existentes aos aspectos hidrológicos, climáticos e avaliação de sistemas urbanos. O plano traz informações que serviram de base para este relatório nos aspectos climáticos, geológicos, geomorfológicos, recursos hídricos superficiais e subterrâneos e divisão geopolítica.

- Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal – Zona Norte. CAERN, 1998.

Teve como objetivo avaliar as potencialidades hidrogeológicas e os riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas utilizadas no abastecimento da população da zona norte de Natal.

Define o Sistema Aquífero Dunas/Barreiras como um sistema hidráulico único, do tipo livre, de elevado potencial hidrogeológico e de águas de excelente qualidade físico-química em suas condições naturais. As reservas totais foram estimadas em 246 milhões de m³ e os recursos explotáveis em 46 milhões de m³/ano.

Aponta o sistema de saneamento, com disposição local de efluentes, como a atividade mais impactante para o aquífero, com a maior parte da área urbanizada afetada pelos efluentes domésticos, com teor de nitrato superior a 10 mg/L, com valores superiores a 45 mg/L em áreas restritas.

- Recursos Hídricos Subterrâneos no Médio e Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim. Diniz Filho, 1999.

Explana sobre os condicionantes hidroclimáticos, geológicos e hidrogeológicos que controlam a ocorrência, distribuição e potencial dos recursos hídricos subterrâneos no baixo e médio curso da bacia hidrográfica do rio Ceará-Mirim/RN. Aponta o aquífero Barreiras como o principal reservatório de água doce potável da área, com reservas permanentes da ordem de 1,2 bilhões de m³, cuja potencialidade é influenciada pela litologia e estrutura geológica das sequências. Destaca a falta de gerenciamento adequado que defina um planejamento de uso e proteção dos recursos hídricos.

- Águas Subterrâneas no Curso Inferior da Bacia do Rio Doce/RN. Subsídios para um Gerenciamento Integrado. Castro, 2000.

Aborda a bacia hidrográfica do rio Doce, voltado para obtenção de parâmetros hidrogeológicos e visando a obtenção de subsídios para um gerenciamento integrado. Traz dados hidroquímicos e hidrogeológicos e faz uma avaliação dos efeitos impactantes da falta de estrutura adequada para o desenvolvimento urbano e industrial sobre o aquífero. Chama a atenção para a ocorrência de teores de nitrato que crescem a partir de um nível geral de base de 10 mg/L, em direção aos conjuntos habitacionais da zona norte de Natal. Um dos estudos mais bem focados em gestão integrada.

- Avaliação de Nitrato e Metais Pesados em Águas Subterrâneas da Cidade de Natal/RN. Nascimento, 2001.

Neste estudo foi avaliada a qualidade das águas do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras, através da interpretação de dados hidroquímicos obtidos em duas campanhas de amostragem, uma em período seco e outra em período chuvoso.

Dentre os parâmetros analisados, o nitrato apresentou valores superiores ao recomendado para consumo humano, variando entre 0,39 mg/L a 81,48 mg/L. Aponta entre os fatores potenciais de contaminação dessas águas a falta de um sistema de disposição de efluentes. Cita também uma possível relação entre a densidade populacional e a ocorrência do íon nitrato, com algumas exceções que podem estar associadas ao fluxo subterrâneo.

- Contaminação das Águas Subterrâneas por Nitrato e sua Relação com a Estrutura Hidrogeológica nos Bairros de Pirangi e Ponta Negra, Natal/RN. Carvalho Júnior, 2001.

Este trabalho foi desenvolvido na cidade de Natal em uma área de 30 km² situada entre os bairros de Pirangi e Ponta Negra. O principal objetivo foi avaliar a influência da estrutura hidrogeológica na contaminação das águas subterrâneas por nitrato.

Os estudos realizados mostraram que a condutividade elétrica constitui-se no parâmetro que melhor indica contaminação das águas subterrâneas da região pelo íon nitrato. A estação de tratamento de esgotos de Ponta Negra foi considerada como uma fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas.

O autor salienta que, caso a infiltração dos efluentes tratados ocorra nas imediações desta estação, os riscos de contaminação serão maiores, já que no referido setor o sistema aquífero é do tipo livre e o fluxo subterrâneo é dirigido para E/NE, em direção ao setor urbanizado de bairro de Ponta Negra, podendo inclusive contaminar poços do sistema público de abastecimento. Trata-se de um estudo localizado, no qual são apresentados os resultados das análises de 31 poços com determinação da condutividade elétrica, nitrito, nitrato e cloreto. Não foram realizadas análises completas cujos resultados permitissem uma melhor e mais confiável avaliação do problema da contaminação por nitrato.

- O Avanço da Contaminação por Nitrato nas Águas Subterrâneas da Zona Sul de Natal/RN. Vasconcelos, 2002.

Este trabalho foi desenvolvido pelo autor em uma área de 149 km² localizada na zona sul da Grande Natal/RN, onde estão inseridos 29 bairros e uma população estimada, na época, em 500.000 habitantes. O objetivo foi estudar o avanço da contaminação por nitrato nas águas subterrâneas da zona sul da Grande Natal/RN.

Analizou teores de nitrato em amostras de água de 222 pontos d'água (cacimbões, poços tubulares, nascentes do rio Pitimbu) selecionados em toda a região de estudo, nos períodos de 1988 e 1993 a 2002. Os resultados analíticos de nitrato, aliados as fontes potenciais de contaminação conduziram aos elevados teores de nitrato de forma generalizada. Os mapas de curvas de isoconcentração de nitrato evidenciam certa correlação com a densidade demográfica.

Afirmou que a expansão generalizada da contaminação e seus crescentes teores de nitrato evidenciavam o espalhamento radial deste contaminante, principalmente para os setores sul (Parnamirim e Macaíba) e leste (via costeira). Vinculou a progressão da Frente de Avanço da Contaminação (FAC) à expansão ocupacional/habitacional facilitada pelo fluxo subterrâneo hidrodinâmico do aquífero no sentido do Oceano Atlântico, rio Pitimbu e rio Potengi.

Concluiu que a Frente de Avanço da Contaminação expande-se radialmente principalmente nos sentidos leste e sul da área estudada e que os teores de nitrato em vários setores vinham aumentando assustadoramente, comprometendo a qualidade da água e contribuindo para a degradação do aquífero, tornando sua recuperação, em médio prazo, irreversível.

Recomenda a adoção de medidas emergenciais que deveriam ser imediatamente tomadas por parte de uma ação governamental eficaz, com a participação de toda a comunidade, visando implantar um sistema de coleta sanitária.

- Estudo de Identificação, Avaliação de Alternativas de Captação e Elaboração de Projeto Básico para a Captação das Águas da Adutora Monsenhor Expedito. SERHID, 2002.

Esse estudo foi executado pela empresa de consultoria TC/BR – Tecnologia e Consultoria Brasileira S.A. e objetivou a avaliação de alternativas para a ampliação da captação para o Sistema Adutor Agreste/Trairi/Potengi, visando alcançar a produção de água projetada para 2016 no âmbito do programa de abastecimento previsto para o referido sistema adutor.

O trabalho contemplou estudos das disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas no entorno do Sistema Lacustre do Bonfim e a avaliação de alternativas de captação especificamente, a partir de poços nas localidades do Sítio Boa Cica, Sítio Canjoão e Alcaçus e a partir de captação superficial dos riachos Boa Cica e Pium.

Os resultados alcançados nesse estudo sobre os parâmetros hidráulicos médios do aquífero Barreiras, a partir dos testes de aquífero realizados, foram: Transmissividade de 191 m²/dia (8,1 m²/h) e Condutividade Hidráulica de 4,1 m/dia, no Sítio Rio Canjoão e Transmissividade de 183 m²/dia (2,1x10⁻³ m²/s) e condutividade hidráulica de 3,3 m/dia, no Sítio Boa Cica.

O estudo indicou a área do Sítio Rio Canjoão como sendo a melhor alternativa para a captação de ampliação do Sistema Adutor, estimando a capacidade produtiva em uma vazão média de 20,83 l/s para cada poço, projetado com profundidade média de 80 m, nível estático médio de 20 m e nível dinâmico médio de 40 m. Para tanto, especificou o padrão construtivo dos futuros poços exploratórios, dentre os quais destacam-se:

- Perfuração com diâmetro de 14”, preferencialmente com sonda rotativa pela rapidez e maior eficiência no desenvolvimento;
 - Fluido de perfuração de lama de polímero, que tende a oferecer menos problemas de desenvolvimento;
 - Revestimento e Filtros com tubos de PVC rígido tipo Geomecânico, em diâmetro de 10”;
 - Pré-filtro de cascalho marinho, com grãos de quartzo sub-arredondados e brilhantes com diâmetros de 1,5 a 3,5 mm;
 - Desenvolvimento por simples bombeamento *air-lift* intermitente, com compressor, combinado com *air-lift* e jato de alta velocidade usando solução de hexametáfosfato de sódio, injetada diretamente nas seções filtrantes, na dosagem de 20 kg/m³.
- Avaliação e Exploração do Aquífero Dunas-Barreiras na Região do Subsistema Lacustre do Bonfim – RN. Manoel Filho e Castro, 2002.

Este trabalho apresenta uma análise das alternativas avaliadas no estudo da SERHID (2002), através da modelação numérica (MODFLOW) do fluxo subterrâneo, considerando o cenário de exploração da bateria de poços do Sistema Adutor Agreste/Trairi/Potengi, já em operação na época do trabalho e a simulação das futuras captações subterrâneas das alternativas do Sítio Rio Canjoão e do Sítio Rio Boa Cica.

O balanço hídrico considerado na modelação numérica revelou, com 90% de probabilidade, que a recarga média é de 240 mm/ano, representando sobre uma área de 200 km², recursos renováveis de 1,52 m³/s. A capacidade de produção de poços tubulares, com profundidade de 80 m a 100 m, varia de 75 m³/h a 150 m³/h.

As três simulações do aquífero para dar suporte à decisão sobre a melhor forma de atender à demanda hídrica da época (230 l/s) e futura (480 l/s no ano de 2016), do Sistema Adutor Agreste Trairí/Potengi alcançaram as seguintes avaliações:

- i. É viável a captação de 230 l/s realizada pelos 7 poços em operação à oeste da lagoa do Bonfim.
 - ii. É viável a ampliação do sistema adutor em 250 l/s, além dos 230 l/s já em curso, considerando a captação na área Canjoão, através de 12 poços situados cerca de 400 m distante da bateria já existente.
 - iii. Não é viável a ampliação do sistema adutor em 250 l/s na área Boa Cica, devido ao risco de intrusão marinha, indicada pelo avanço da equipotencial zero até o campo de poços projetado no modelo, conforme demonstra o mapa potenciométrico elaborado pela modelação numérica.
- Quantificação da Oferta Hídrica da Lagoa de Extremoz. SERHID, 2004.

Este trabalho teve como objetivo quantificar a disponibilidade hídrica da Lagoa de Extremoz e do aquífero Barreiras em seu entorno, com vistas ao aproveitamento para abastecimento do município de Natal.

Indica uma capacidade de acumulação para a lagoa de Extremoz de aproximadamente 14,6 milhões de m³, com uma superfície de 4,28 km², alimentada pelas águas das chuvas, subterrânea e dos rios Guajiru e Mudo e capacidade de exploração de 690 l/s.

O aquífero Barreiras se apresenta predominantemente como um sistema livre, com transmissividades entre 3×10^{-3} m²/s a 3×10^{-5} m²/s. A recarga foi estimada em 69 mm/ano, as recursos explotáveis em 13,8 milhões de m³/ano, dos quais 6,4 milhões de m³/ano eram captados a partir de poços tubulares na época do estudo. Os maiores potenciais para captação do aquífero Barreiras ocorrem na porção leste da área de estudo, às margens da lagoa de Extremoz.

De um modo geral as águas da região da lagoa de Extremoz são de excelente qualidade química em suas condições naturais, para o uso humano, porém os

teores de nitrogênio amoniacal em 32% das amostras de água analisadas se mostraram elevados, sugerindo uma contaminação local e recente. Com relação as águas superficiais, rios e Lagoa de Extremoz, não há restrições de qualidade do ponto de vista químico.

- Implicação da Compartimentação Estrutural no Aquífero Barreiras na Área da Bacia do Rio Pirangi/RN. Lucena, 2005.

Avaliou a influência da estruturação tectônica regional na hidrogeologia dos terrenos sedimentares cenozóicos na região litorânea sul do RN, particularmente no aquífero Barreiras. Realizou também uma caracterização qualitativa e adequabilidade das águas do aquífero Barreiras através de análise físico-químicas em amostras coletadas em poços tubulares.

- Cadastramento e Nivelamento de Poços do Aquífero Barreiras no Município de Natal. SERHID, 2005.

Foram cadastrados 1.508 unidades hidráulicas, das quais 66% são poços tubulares, 31% são poços escavados ou cacimbões e, 0,2%, são fontes ou afloramento do nível da água subterrânea. O volume total de água subterrânea bombeado, foi estimado em 66 milhões de m³/ano, deste volume 75% correspondem a poços do sistema público de abastecimento e 25% são poços de particulares.

Conclui que as águas subterrâneas estão associadas a um sistema livre (podendo ocorrer semi-confinamentos localmente), com fluxos localizados ou secundários de uma região central do aquífero em direção aos vales dos rios principais e em direção ao mar. A superfície potenciométrica, nos dois casos, se acha muito pouco afetada por abaixamentos da superfície potenciométrica devido a bombeamentos concentrados, provavelmente devido a recarga urbana propiciada pelos efluentes domésticos em direção as águas subterrâneas.

Os resultados analíticos indicaram que as águas subterrâneas no município de Natal estão bastante contaminadas por nitrato, com teores que excedem o limite estabelecido pela OMS de 10 mg/L de N.

- Deformação Rúptil em Depósitos da Formação Barreiras na Porção Leste da Bacia Potiguar. Nogueira, 2006.

Este trabalho indica que a costa leste do Estado do Rio Grande do Norte é controlada por falhas com direções NE-SW e NW-SE. As evidências morfotectônicas associadas a dados de poços, sondagens geológicas, dados

gravimétricos e estruturais indicam movimentos transcorrentes, relacionados a soerguimento e subsidência de blocos falhados.

A integração destes dados sugere uma atividade tectônica transtraccional neogênica, com falhamento e basculamento de blocos associados. Estas falhas estão associadas a dois eventos tectônicos com direções de compressão máxima N-S e, mais recente, uma compressão de direção E-W.

- Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, escala 1:500.000. CPRM, 2006.

Mapa geológico em escala regional mais recente que abrange todo o Estado do Rio Grande do Norte, contendo uma compilação de todas as unidades litoestratigráficas aflorantes na área de estudo. Apresenta também indicação das principais estruturas tectônicas.

- Bacia de Pernambuco/Paraíba. Córdoba, 2007.

A mais recente proposta de estratigrafia da Bacia de Pernambuco/Paraíba, a qual indica a ocorrência de cinco discordâncias expressivas, as quais separam cinco seqüências deposicionais distintas, que estariam associadas aos estágios rifte, pós-rifte e drifte da referida bacia.

As unidades litoestratigráficas definidas nesse trabalho, da base para o topo, são: formação Cabo, formação Estivas, formação Beberibe, formação Itamaracá, formação Gramame, formação Algodoais, formação Maria-Farinha, formação Calumbi, formação Marituba, formação Barreiras e depósitos de cobertura recentes.

- Bacia Potiguar. Pessoa Neto, 2007.

A mais recente proposta de estratigrafia da Bacia Potiguar, a qual indica a ocorrência de três superseqüências associadas aos estágios rifte, pós-rifte e drifte da referida bacia.

As unidades litoestratigráficas definidas nesse trabalho, da base para o topo, são: formação Pendência, formação Pescada, formação Alagamar, as quais constituem o grupo Areia Branca; formação Açú, formação Ponta do Mel, formação Jandaíra, formação Quebradas, que constituem o grupo Apodi; formação Ubarana, formação Macau, formação Guamaré, formação Tibau, formação Barreiras, que constituem o grupo Agulha.

- Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Maxaranguape. SEMARH, 2010.

É o primeiro plano de bacia do Estado do RN e constitui uma ferramenta de planejamento onde são apontadas ações e metas a serem desenvolvidas na bacia do rio Maxaranguape.

O plano determina as potencialidades e efetivas disponibilidades hídricas, tanto dos recursos superficiais como subterrâneos, analisa as alternativas de infraestrutura hídrica apropriada para o desenvolvimento de atividades produtivas, consolida o acervo de informações hidrogeológicas e define regras para exploração sustentável das águas subterrâneas.

O levantamento bibliográfico permitiu, sobretudo, a consolidação do conhecimento existente sobre a geologia, compartimentação estrutural e hidrogeologia que serão apresentados a seguir e que serviram de base para o desenvolvimento deste estudo.

3.1 Geologia Regional

O Estado do Rio Grande do Norte abrange terrenos cristalinos e depósitos sedimentares (**Figura 3.2**), estes últimos associados principalmente ao desenvolvimento das bacias de margem passiva da costa leste do litoral brasileiro.

Os terrenos cristalinos do RN se inserem na Província Borborema (BRITO NEVES *et al.* 2000), especificamente nos domínios Jaguaribeano (9c), Rio Grande do Norte/Terreno Piranhas (9d) e Rio Grande do Norte/Terreno São José do Campestre (9e); e na Faixa Brasileira Cachoeirinha (6c) (CPRM, 2003). Os depósitos sedimentares do RN ocorrem no domínio das bacias Potiguar e Costeira RN/PB/PE.

A RMN está inserida no Domínio Rio Grande do Norte/Terreno São José do Campestre, mais especificamente na área de ocorrência do Núcleo Bom Jesus-Presidente Juscelino (12b – **Figura 3.2**), que aflora no extremo oeste da área de estudo, e no domínio das bacias de margem passiva do litoral brasileiro (**Figura 3.2**), mais especificamente na Bacia Costeira PE/PB/RN e na Bacia Potiguar (**Figura 3.3**).

O Núcleo Bom Jesus-Presidente Juscelino é constituído por um segmento arqueano (DANTAS, 1997 *apud* CPRM, 2003) composto pelo metatonalito Bom Jesus o qual é circundado por ortognaisses e migmatitos paleoproterozóicos do Complexo Presidente Juscelino (CPRM, 2003). Os litotipos predominantes desse núcleo são ortognaisses tonalíticos e grandodioríticos, migmatitos, metatrondhjemitos e metagranitos (CPRM, 2006).

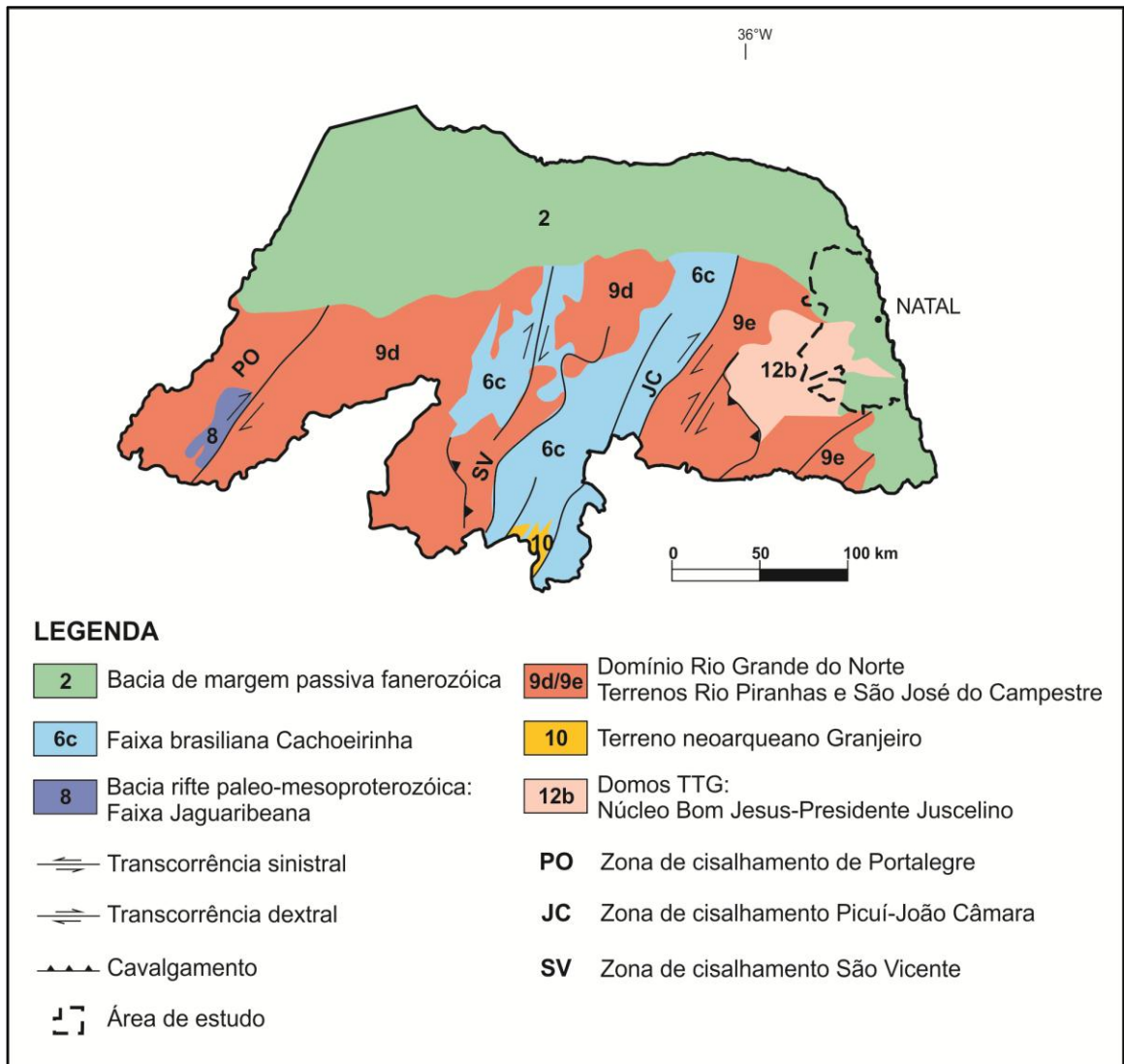


Figura 3.2. Compartimentações geotectônicas do Estado do Rio Grande do Norte (CPRM, 2003)

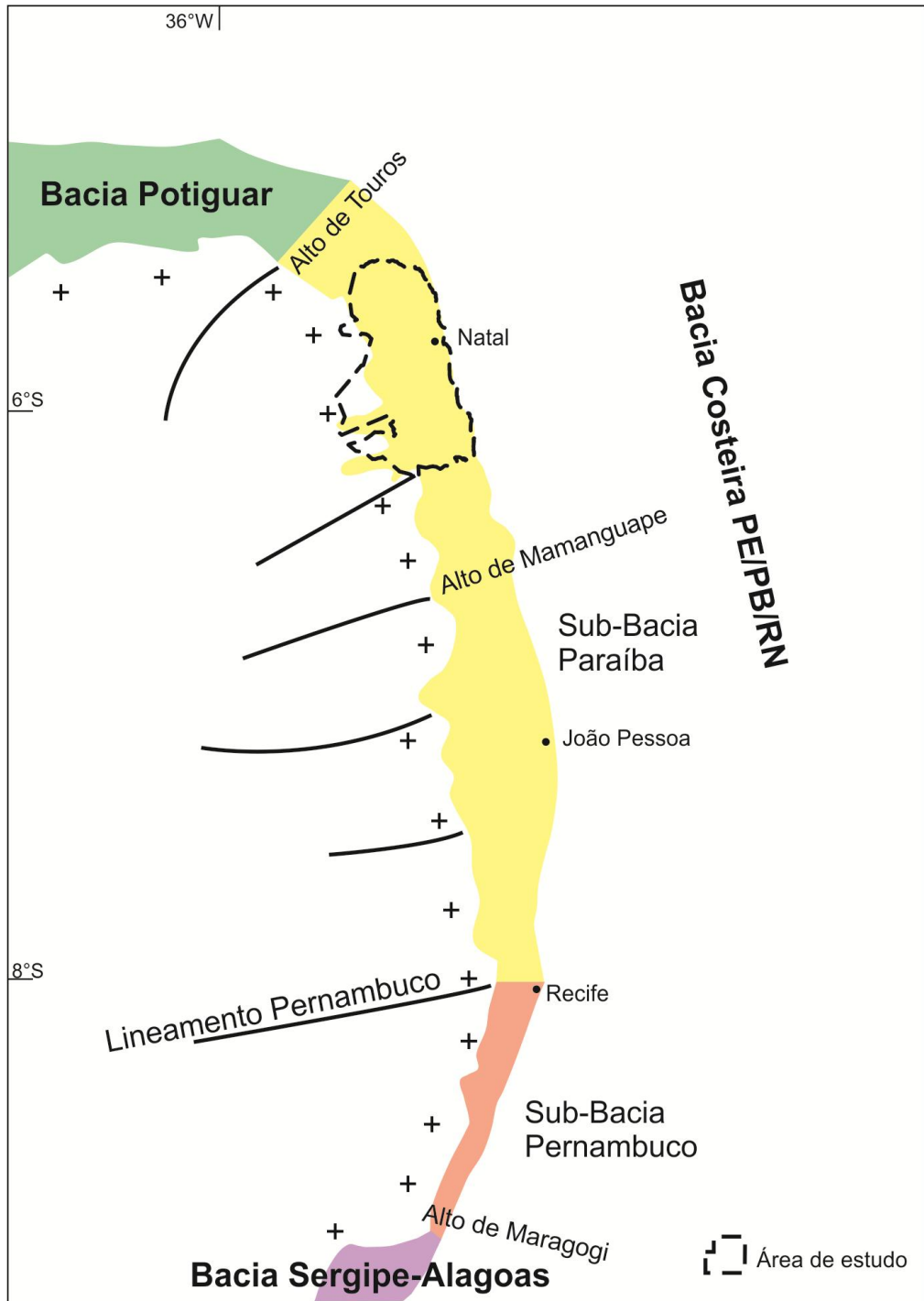


Figura 3.3. Bacia Costeira PE/PB/RN e principais estruturas (adaptado de Lima Filho, 1999)

Bacia Costeira PE/PB/RN

A Bacia Costeira PE/PB/RN se instalou sobre as rochas cristalinas da Província Borborema, aproveitando-se principalmente das descontinuidades pré-existentes, e limita-se a norte com a Bacia Potiguar, a sul com a Bacia Sergipe/Alagoas e a oeste com o embasamento cristalino (**Figura 3.3**), estendendo-se pelos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

A Bacia Costeira PE/PB/RN, em sua porção emersa, ocupa uma área aproximada de 9.000 km², dividida em duas sub-bacias pelo lineamento de Pernambuco (**Figura 3.3**), a sub-bacia de Pernambuco ao sul e da Paraíba ao norte (LIMA FILHO, 1999; CÓRDOBA *et al.* 2007), na qual está inserida a RMN. Alguns autores sugerem ainda a divisão da sub-bacia Paraíba (MABESOONE; ALHEIROS, 1988; LIMA FILHO, 1999), entretanto, no âmbito deste projeto a sub-bacia Paraíba é tratada como uma unidade indivisa, por não conter características que conotem a necessidade de subdivisão dentro do estudo.

Sub-Bacia Paraíba

O alto estrutural que delimita a sub-bacia Paraíba com a Bacia Potiguar ao norte é o Alto de Touros; a oeste é delimitada por um sistema de falhas que a separa do embasamento cristalino composto por rochas metamórficas da Província Borborema; e a sul delimitada pelo Lineamento Pernambuco com a sub-bacia Pernambuco (**Figura 3.3**).

As relações estratigráficas e estruturais da sub-bacia Paraíba com a sub-bacia Pernambuco e/ou com a Bacia Potiguar ainda não são bem esclarecidas. Há diversas hipóteses sobre a evolução dessa sub-bacia (ASMUS, 1975; RAND, 1976; MABESOONE; ALHEIROS, 1988; LIMA FILHO, 1999; FEITOSA *et al.* 2002; LIMA *et al.* 2003; MORAES, 2005; FURRIER *et al.* 2006; CÓRDOBA *et al.* 2007), entretanto, não é bem compreendida a correlação principalmente dos depósitos basais cretáceos da sub-bacia Paraíba com os sedimentos da sub-bacia Pernambuco e da Bacia Potiguar.

Dessa maneira, para a porção emersa da sub-bacia Paraíba, foi adotada uma compilação simplificada das unidades litoestratigráficas propostas por diversos autores, a qual é resumidamente descrita a seguir, da base para o topo:

- Rochas siliciclásticas e/ou carbonáticas: constituídas de arenitos, eventualmente com matriz calcífera, intercalados com calcarenitos, carbonatos e argilitos, de idade cretácea, correlatas às formações Beberibe e/ou Gramame da sub-bacia Pernambuco e às formações Açú e/ou Jandaíra da Bacia Potiguar (IPT,

1982; MELO, 1995; FEITOSA *et al.* 2002; CÓRDOBA *et al.* 2007), também podem receber a denominação de arenito calcífero ou infra-Barreiras (IPT, 1982);

- Formação Barreiras: constituída por arenitos de granulometria grossa a fina, eventualmente conglomerático, com matriz silto-argilosa, intercalado com argilitos arenosos (MABESOONE *et al.* 1977; IPT, 1982; CPRM, 2006; CÓRDOBA *et al.* 2007), de idade Tercio-Quaternária (MABESOONE *et al.* 1972; SUGUIO *et al.* 1986; CÓRDOBA *et al.* 2007). Estaria associado a deposição de sistemas fluviais entrelaçados desenvolvidos sobre leques aluviais (IPT, 1982; CPRM, 2006; CÓRDOBA *et al.* 2007);

- Depósitos recentes: sedimentos inconsolidados do Quaternário, constituídos por coberturas arenosas, aluviões, depósitos eólicos, sedimentos de mangues e praias atuais (CPRM, 2006).

Por fim, é citada a ocorrência, eventual e pontual, de rochas básicas/alcalinas, de idade neocretácea a terciária, tendo como exemplos e análogos, no continente, a intrusão alcalina de Itaporoca e os basaltos alcalinos correlatos à Suíte Macau (CÓRDOBA *et al.* 2007).

Sub-Bacia Pernambuco

A sub-bacia Pernambuco em sua porção emersa é limitada a norte pelo Lineamento Pernambuco com a sub-bacia Paraíba; a oeste por um sistema de falhas que a separa do embasamento cristalino composto por rochas metamórficas da Província Borborema; a sul limita-se com a Bacia Sergipe/Alagoas pelo Alto de Maragogi (**Figura 3.3**).

As unidades litoestratigráficas reconhecidas na porção emersa foram organizadas, segundo Barbosa *et al.* (2003) e Córdoba *et al.* (2007), nas seguintes sequências deposicionais: siliciclástica, englobando as formações Beberibe e Itamaracá; carbonática de mar alto/regressiva englobando as formações Gramame e Maria Farinha; formações superficiais Cenozóicas, representadas pela formação Barreiras e por depósitos recentes de diversas origens, conforme descrito a seguir.

- Formação Beberibe: designa os clásticos grossos neocretáceos, correlacionável à formação Açú na Bacia Potiguar e representa a porção basal da bacia. Caracterizada por um espesso pacote de arenitos friáveis, mal selecionados, de coloração cinza a creme, argilosos, e com espessuras médias de 230 a 280 m (CÓRDOBA *et al.* 2007; LEAL; SÁ, 1998 *apud* FURRIER *et al.* 2006).

- Formação Itamaracá: caracteriza-se pela presença de clásticos grossos e finos neocretáceos interdigitados e sobrepostos aos arenitos da formação Beberibe (CÓRDOBA *et al.* 2007). Esta unidade é considerada um marco estratigráfico que ocorre em toda a sub-bacia Pernambuco.
- Formação Gramame: caracterizada por calcáriosossilíferos neocretáceos aflorantes entre Recife e João Pessoa, correlacionável com a formação Jandaíra na Bacia Potiguar (CÓRDOBA *et al.* 2007).
- Formação Maria-Farinha: constituída por calcarenitos puros e argilosos terciários sobrepostos concordantemente aos carbonatos da formação Gramame (CÓRDOBA *et al.* 2007). Esta formação é definida como a continuação da sequência calcária da formação Gramame, sendo diferenciada apenas pelo seu conteúdoossilífero (CÓRDOBA *et al.* 2007; LEAL; SÁ, 1998 *apud* FURRIER, 2006).
- Formação Barreiras: a mesma descrição apresentada no contexto da sub-bacia Paraíba.
- Depósitos recentes: a mesma descrição apresentada no contexto da sub-bacia Paraíba.

Bacia Potiguar

A Bacia Potiguar possui uma área emersa de aproximadamente 21,5 mil km², limitada a sul pelo Alto de Touros com a Bacia Costeira PE/PB/RN; a oeste por um sistema de falhas que a separa do embasamento cristalino; e a norte pelo Alto de Fortaleza, no limite com a Bacia do Ceará (PESSOA NETO *et al.* 2007).

Seu registro estratigráfico inclui três supersequências: rifte, pós-rifte e drifte, constituídas, da base para o topo, pelas seguintes unidades litoestratigráficas na porção emersa:

- Formação Pendência: constituída predominantemente por folhelhos escuros com intercalações de siltitos e arenitos, e fanglomerados associados as zonas de falha, depositados em ambientes lacustrinos, flúvio-deltaicos e fandeltaicos (IPT, 1982; PESSOA NETO *et al.* 2007);
- Formação Açú: constituídas por camadas espessas de arenitos médios a muito grossos de cor esbranquiçada, com intercalações de folhelhos, argilitos verdes claros e siltitos castanho-avermelhados, depositada em ambiente continental, do Cretáceo (IPT, 1982; PESSOA NETO *et al.* 2007).

- Formação Jandaíra: rochas carbonáticas cretáceas de alta energia constituídas tipicamente por calcarenitos bioclásticos, com foraminíferos bentônicos, por vezes associados a algas verdes. Ocorrem também calcilitos com marcas de raízes, dismicrito, dolomitos e, subordinadamente, argilitos (IPT, 1982; PESSOA NETO *et al.* 2007);
- Formação Ubarana: constituída por folhelhos, diamictitos e turbiditos, campanianos, associados a uma sequência flúvio-marinha transgressiva com ocorrência bastante restrita na porção emersa da bacia (IPT, 1982; PESSOA NETO *et al.* 2007);
- Formação Guamaré: sequência carbonática superposta à formação Ubarana, também de ocorrência bastante restrita na porção emersa da bacia (IPT, 1982; PESSOA NETO *et al.* 2007);
- Formação Tibau: de ocorrência restrita a linha de costa atual, constituída por arenitos quartzosos, médios a conglomeráticos, verde amarelados e amarelo claro, duro a friáveis, com acamamento irregular e apresentando frequentemente nódulos de sílica, associada a uma sequência regressiva flúvio-marinha (CYPRIANO; NUNES *apud* IPT, 1982; PESSOA NETO *et al.* 2007);
- Formação Macau: rochas vulcânicas depositadas entre o Eoceno e o Oligoceno, intercaladas as formações Guamaré e Tibau (PESSOA NETO *et al.* 2007);
- Formação Barreiras: constituída predominantemente por arenitos argilosos vermelhos inconsolidados a pouco consolidados, constituindo coberturas descontínuas com contatos basais discordantes com a formação Jandaíra. Na porção mais ao sul da bacia pode ocorrer também sobre as rochas do embasamento cristalino ou sobre os arenitos da formação Açú (IPT, 1982). Na Bacia Potiguar a formação Barreiras apresenta-se mais argilosa em comparação a mesma na sub-bacia Paraíba (SERHID, 1998a).
- Depósitos recentes: os sedimentos quaternários inseridos no contexto da Bacia Potiguar são constituídos pelas aluviões, depósitos de praias recentes e depósitos eólicos de dunas.

3.2 Geologia da RMN

Na área de estudo, ocorrem as unidades litoestratigráficas que constituem a sub-bacia Paraíba, as formações Açú e Jandaíra da Bacia Potiguar e as rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino.

Dessa maneira, as unidades litoestratigráficas que compõem o arcabouço geológico na RMN com base nas referências bibliográficas são, da base para o topo: o embasamento cristalino pré-cambriano; formação Açú e formação Jandaíra da Bacia Potiguar; rochas siliciclásticas/carbonáticas cretáceas da sub-bacia Paraíba; formação Barreiras; sedimentos colúvio-eluvionares; sedimentos eólicos de dunas e paleodunas; aluviões, depósitos de praia, sedimentos flúvio-lacustres, depósitos de mangue e *beachrocks* (IPT, 1982; BEZERRA *et al.* 1993; MELO, 1995; SERHID, 1998a; CPRM, 2006; CÓRDOBA *et al.* 2007), as quais são descritas a seguir.

Embasamento Cristalino

O embasamento cristalino é constituído por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas que afloram na porção oeste da área, principalmente nos altos cursos dos rios Potengi e Trairi, e ocorrem em subsuperfície, compondo o embasamento para os sedimentos da sub-bacia Paraíba (IPT, 1982; CPRM, 2006).

O embasamento cristalino na RMN é constituído por granitos, granodioritos, migmatitos e gnaisses (BEZERRA *et al.* 1993; LACERDA, 1999; CPRM, 2006). As rochas do embasamento cristalino, na região de interesse, ocorrem em corpos intrusivos alongados, com baixo nível de desenvolvimento de foliações, com exposições localizadas, principalmente, nos municípios de Monte Alegre e Macaíba (SERHID, 1998a).

Formação Açú

A formação Açú ocorre apenas no extremo noroeste da RMN, em subsuperfície e superfície, em uma área bastante restrita, sobre uma estrutura de plataforma rasa denominada Alto de Ceará-Mirim, que seria o limite entre a Bacia Potiguar e a Bacia Costeira PE/PB/RN (SERHID, 1998a).

É composta por sedimentos clásticos finos a grossos depositados em ambiente continental, entre o Aptiano/Albiano e o Turoniano, estando assentada discordantemente sobre o embasamento cristalino na área de estudo (IPT, 1982; SERHID, 1998a; CPRM, 2006).

A porção inferior dessa formação é constituída por arenitos grossos a conglomeráticos, mal selecionados, com grãos angulosos. Na parte superior ocorrem arenitos finos muito argilosos, siltitos argilosos e argilas vermelhas, intercalados com margas e calcarenitos (IPT, 1982; CPRM, 2006).

Formação Jandaíra

Ocorre no mesmo contexto da formação Açú, estando sua ocorrência tanto em superfície quanto em subsuperfície restrita ao Alto de Ceará-Mirim, no extremo noroeste da RMN.

É constituída por rochas carbonáticas cretáceas, de alta energia, tipicamente compostas por calcarenitos bioclásticos, com foraminíferos bentônicos, por vezes associados a algas verdes. Ocorrem também calcilutitos com marcas de raízes, dismicrito, dolomitos e, subordinadamente, argilitos (IPT, 1982; SERHID, 1998a; PESSOA NETO *et al.* 2007).

A formação Jandaíra dispõe-se de forma concordante sobre as rochas siliciclásticas da formação Açú, e encontra-se parcialmente recoberta, na porção emersa da bacia, pelas rochas siliciclásticas da formação Barreiras, e em sua porção submersa, pelas rochas carbonáticas e siliciclásticas das formações Ubarana, Tibau e Guamaré. A deposição de suas fácies está relacionada aos ambientes de planície de maré, laguna rasa, plataforma rasa e mar aberto em uma bacia faminta (CPRM, 2006).

Rochas Cretáceas da sub-bacia Paraíba

Conforme já discutido, a ocorrência de rochas siliciclásticas e carbonáticas cretáceas na região estudada não é totalmente esclarecida pela literatura quanto à sua correlação estratigráfica com os sedimentos da bacia Potiguar ou da sub-bacia Pernambuco.

Alguns autores citam afloramentos de calcários nos municípios de Ceará-Mirim e Macaíba, na região metropolitana de Natal, que recebem denominações locais, demonstrando a dificuldade de correlação precisa desses calcários com a formação Jandaíra da Bacia Potiguar ou com a formação Gramame da sub-bacia Pernambuco (IPT, 1982; SERHID, 1998a; CPRM, 2003). Há, entretanto, tendência para a aceitação da inclusão dessas rochas cretáceas, no contexto geológico da Bacia Costeira PE/PB/RN, com base em bibliografias, dados gravimétricos, sondagens elétricas, perfis de poços e correlações litoestratigráficas (CPRM, 2003).

O estudo hidrogeológico regional do Estado do Rio Grande do Norte, realizado pelo IPT (1982), denomina essa unidade de infra-Barreiras, o qual compõe o substrato da formação Barreiras na RMN, principalmente na porção leste da área. Afloramentos ocorrem de maneira pontual e ocupam áreas bastante reduzidas, principalmente no alto curso do rio Ceará-Mirim, no município homônimo, no extremo noroeste da área de estudo.

Essa unidade é constituída por arenitos calcíferos finos a médios, claros, com intercalações de argilas e calcários (IPT, 1982; SERHID, 1998a) depositados discordantemente sobre o embasamento cristalino. A espessura destas rochas sedimentares aumenta de oeste para a linha de costa, podendo atingir 300 m ou mais (IPT, 1982; PEREIRA *et al.* 2002). Neste relatório essa unidade será denominada como rochas carbonáticas cretáceas.

Formação Barreiras

As rochas sedimentares da formação Barreiras são de idade Tercio-Quaternária (MABESOONE, 1972; IPT, 1982; SERHID, 1998a; CPRM, 2003; CÓRDOBA *et al.* 2007), as quais constituem as coberturas cenozóicas da Bacia Costeira PE/PB/RN.

Ocorre em superfície em grande parte da área de estudo, em contato discordante ora com os terrenos cristalinos da Província Borborema (limite oeste) ora sobre os sedimentos cretáceos (porção central e leste). Próximo à linha de costa está sotoposta aos sedimentos quaternários eólicos associados às dunas e paleodunas.

Em 1972, Mabesoone *et al.* dividiram o então Grupo Barreiras nas formações Macaíba, Guararapes e Serra dos Martins. Em 1991, por ocasião de uma revisão da geologia da faixa sedimentar costeira esses sedimentos voltaram a ser designados como formação Barreiras (SERHID, 1998a), o qual é adotado nesse estudo.

Na RMN, a formação Barreiras caracteriza-se pela presença de arenitos de granulometria fina a grossa, com intercalações de siltitos e argilitos, em estratos praticamente horizontais, com espessuras variadas. São geralmente pouco consolidados com coloração predominantemente creme amarelada a avermelhada. As condições deposicionais devem ter variado amplamente, o que é demonstrado pela variação faciológica lateral e vertical no conjunto litológico (IPT, 1982; SERHID, 1998a; SERHID, 2004; CPRM, 2006).

A porção inferior da formação Barreiras apresenta fácies arenosa a conglomerática, ferruginosos e silicificados, o que lhes atribui caráter de forte diagênese. Na porção superior dessa unidade ocorrem fácies areno-argilosa com níveis de seixo de quartzo, recoberta por sedimentos areno-argilosos vermelhos, amarelados e cremes que tem sido denominado intemperismo Potengi, e pode ser observada por grande parte da faixa costeira leste do Estado, principalmente nas superfícies de aplainamento, vertentes dos vales e falésias costeiras (IPT, 1982; SERHID, 1998a; CPRM, 2006).

Os depósitos da formação Barreiras apresentam, de forma geral, um aumento de espessura de oeste para leste, em direção a linha de costa, refletindo a estruturação da bacia em que se encontram depositados (IPT, 1982; SERHID, 1998a).

Depósitos Quaternários

Os sedimentos Quaternários estão representados na área por coberturas arenosas, aluviões, depósitos eólicos, sedimentos de mangues, flúvio marinhos e praias atuais. Estes se encontram capeando a formação Barreiras ou simplesmente representando a própria faixa litorânea (IPT, 1982; MELO, 1995; SERHID, 1998a; LUCENA, 2005; CPRM, 2006).

Depósitos eólicos (dunas e paleodunas): são areias bem selecionadas, geralmente quartzosas, com granulometria variando de fina a média, que se acumulam ao longo da faixa costeira pela ação dos ventos. Os grãos de areia são subangulosos a arredondados, podendo apresentar-se foscos ou polidos. Ocorrem mais frequentemente com coloração esbranquiçada, com tonalidades acinzentadas, amareladas e avermelhadas. Morfologicamente, mostram formas colinosas suavemente arredondadas dispostas paralelas ou semi-paralelas segundo a orientação geral SE-NW, condicionadas ao vento predominantes da região. As areias das dunas provêm das praias, das planícies costeiras ou aluviais expostas e das formações continentais da formação Barreiras e a seleção do material é observada mais nas dunas recentes que nas dunas mais antigas (paleodunas) (IPT, 1982; GIANNINI *et al.* 2001; SERHID, 2004; CPRM, 2006).

Aluviões: são depósitos de granulometria e litologia bastante variada, com pobre selecionamento, os quais caracterizam zonas de influência fluvial, lacustre e estuarino. Ocorrem na forma de areias quartzosas finas a grossas, mal selecionadas, com seixos de quartzo arredondados a subarredondados e em alguns casos, com matéria orgânica, turfa e argila orgânica (MELO, 1995; SERHID, 2004; CPRM, 2006). São depósitos restritos encontrados margeando os rios que drenam a região, principalmente nos cursos dos rios Ceará-Mirim, Trairi e Potengi.

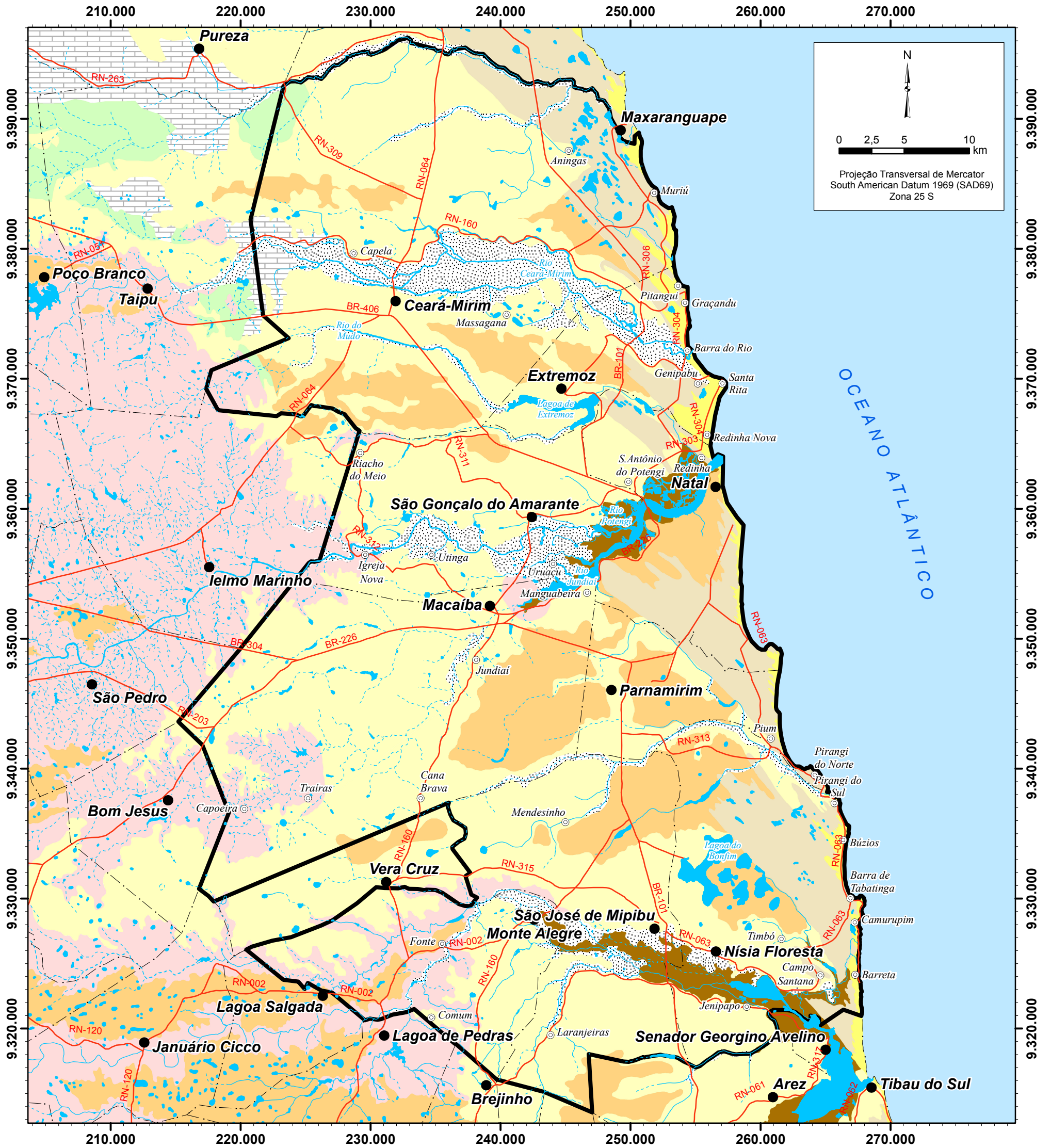
Depósitos praias (beachrocks): são formados por areias finas, médias e grossas, com maior domínio dos grãos grossos. Afloram ao longo das praias, onde são encontrados recifes de arenito, formando faixas paralelas à costa, alinhados segundo a direção norte-sul. Estes são de textura fina a média, localmente com níveis conglomeráticos e cimentados em geral (SERHID, 2004; BARRETO, 2004), com idades que variam do Holoceno médio até o presente (BARRETO, 2004).

Os *beachrocks* são constituídos, em grande parte, por grãos de quartzo, subangulosos a subarredondados, feldspatos e bioclastos, cimentados por calcita microcristalina e, mais raramente, criptocristalina (indicativos de variações climáticas e do nível do mar pelos quais passaram esses depósitos). No geral, repousam sobre os arenitos da formação Barreiras e, devido à escala de trabalho não são representados no mapa geológico.

Mangues e flúvio marinhos: esses sedimentos ocorrem margeando os estuários dos rios Potengi, Doce, Maxaranguape e Trairi, principalmente nas proximidades das suas desembocaduras. São depósitos sílticos argilosos, muito ricos em matéria orgânica, de coloração cinza escuro, com uma crescente percentagem de areia em direção ao domínio das praias recentes (MELO, 1995; SERHID, 2004; CPRM, 2006).

Coberturas arenosas (colúvio-elúvios): compreendem sedimentos arenosos a areno-argilosos esbranquiçados a avermelhados, por vezes constituindo depósitos conglomeráticos com seixos de quartzo, localmente de natureza polimítica, proveniente do retrabalhamento de sedimentos da formação Barreiras (CPRM, 2006).

O mapa geológico elaborado neste estudo foi adaptado do mapa desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006) e está apresentado na **Figura 3.4**, na qual podem ser observadas as unidades aflorantes na RMN.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



Unidades Litoestratigráficas

- Depósitos de mangue e flúvio-marinhos - lama, silte, argila e areia
- Depósitos aluvionares - areia, argila arenosa, cascalho
- Depósitos colúvio-eluviais - areia, argila arenosa, cascalho
- Depósitos litorâneos de praia e dunas móveis - areia fina a média
- Depósitos eólicos litorâneos de paleodunas - areia fina a média
- Formação Barreiras - arenito argiloso, argilito arenoso, arenito conglomerático
- Formação Jandaíra - calcarenitos, folhelhos, calcilitos, argilitos
- Formação Açú - arenitos, siltitos, argilitos
- Embasamento cristalino - granodiorito, granito, monzonito, ortognaisse-tonalítico, ortognaisse-granodiorítico, metatrandjhemito, monzogranito, sienogranito, leucogranito

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

Figura 3.4. Geologia da Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



3.3 Contexto Tectono-Estrutural da RMN

A compartimentação estrutural da RMN está fortemente condicionada à evolução das bacias de margem passiva da costa leste do litoral brasileiro, a partir do Mesozóico, responsável pela formação de estruturas rúpteis no embasamento e sequências sedimentares contemporâneas aos distintos episódios tectônicos.

Na RMN os principais condicionantes tectono-estruturais estão associados principalmente a evolução das bacias de PE/PB/RN e Potiguar.

Na Bacia Costeira PE/PB/RN foram identificados três eventos deformacionais distintos que contribuíram para o arcabouço ou estão presentes no registro estratigráfico dessa bacia, desde a fase rifte até o estágio drifte (CÓRDOBA *et al.* 2007).

O primeiro evento, ocorrido no estágio rifte, compreende uma deformação distensional, com eixo de máxima distensão na direção NW-SE, a qual teria gerado falhas normais em arranjo lítrico ou dominó na direção NE, aproveitando-se de zonas de fraqueza pretéritas do embasamento, combinadas a falhas de transferência NW (CÓRDOBA *et al.* 2007). Essas estruturas afetam o embasamento cristalino e os sedimentos mais antigos, depositados nesse estágio.

Um segundo evento, pós-rifte, também representado por estruturas distensionais, pode ser reconhecido pela ocorrência de falhas normais em unidades mais jovens, com eixo principal de distensão NE/ENE na sub-bacia Paraíba. Entre Recife e Natal, ocorrem estruturas de *grabens* com distensão NE/ENE, cujas falhas afetam tanto as unidades do Cretáceo Superior, como o próprio embasamento cristalino. Reativações deste regime chegam a afetar inclusive a formação Barreiras, no Terciário (CÓRDOBA *et al.* 2007).

O terceiro evento envolve distensão longitudinal às bacias, na direção N-S a NNE, resultando em falhas normais E-W a ENE, e falhas de rejeito direcional, ou oblíquas, com direções NE a NW. Esta cinemática pode ser relacionada ao campo de tensões de escala continental, que afeta a Placa Sul-Americana desde o Cretáceo Superior (CÓRDOBA *et al.* 2007).

Estudos conduzidos na sub-bacia Paraíba indicam ainda que na costa leste do Estado do Rio Grande do Norte ocorreram dois eventos tectônicos distintos durante o Cenozóico, com reativações de falhas, através de movimentos transcorrentes (BEZERRA *et al.* 2001; NOGUEIRA *et al.* 2006). O primeiro evento, com idade que variaria entre o Paleoceno e o Mioceno (SOUZA *et al.* 2005), teria ocorrido contemporaneamente a deposição dos sedimentos da

formação Barreiras. O segundo evento teria ocorrido posteriormente a deposição da formação Barreiras, entre o Mioceno e o Holoceno, contemporâneo a sedimentação dos depósitos quaternários (BEZERRA *et al.* 2001; NOGUEIRA *et al.* 2006).

Na RMN, a combinação desses eventos resultou em uma compartimentação tectônica controlada principalmente por falhas com direções NW-SE e NE-SW (**Figura 3.5**), com rejeitos centimétricos até algumas dezenas de metros, com ocorrência de soerguimento e abatimento de blocos falhados, exercendo controle fundamental na deposição dos sedimentos, através da geração de espaço para sua acomodação (BEZERRA *et al.* 2001; NOGUEIRA *et al.* 2006).

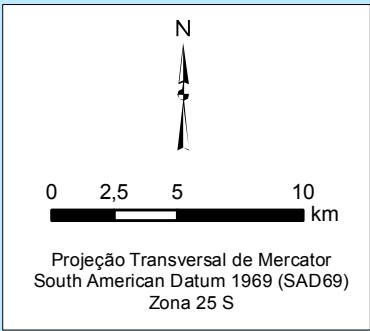
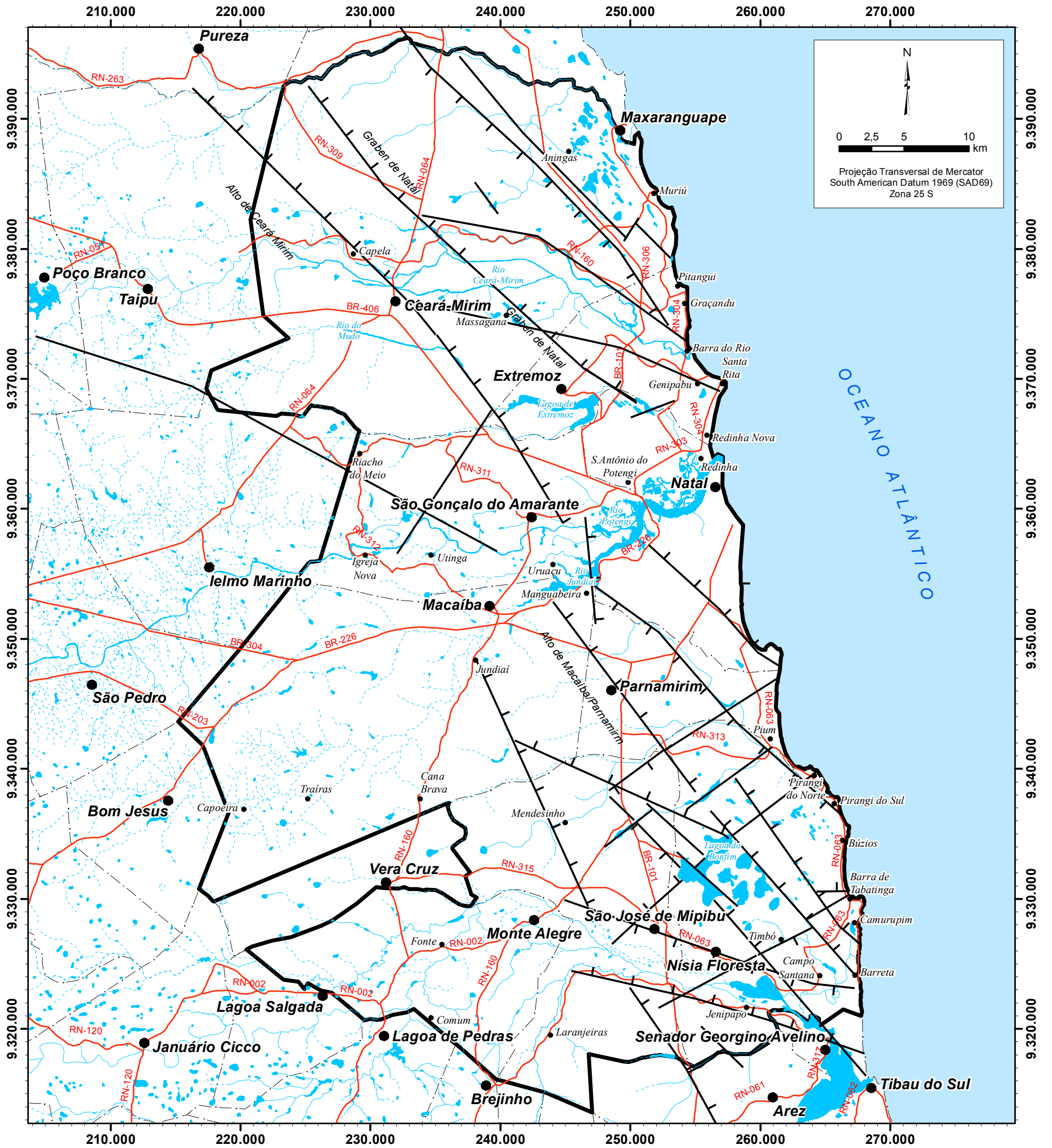
Na direção NE-SW destacam-se as falhas que delimitam o rio Jundiá em ambas as margens, que se estendem até a foz do rio Potengi, com abatimento do bloco localizado no interior do vale, indicando uma geometria de *graben* (NOGUEIRA *et al.* 2006). Falhas nessa mesma direção foram mapeadas próximo ao complexo lagunar do Bonfim, que condicionam o padrão de drenagem de afluentes do rio Pium, e a geometria das lagoas que formam o complexo lagunar (SERHID, 1997; SERHID, 1998b; LUCENA, 2005; NOGUEIRA *et al.* 2006).

Outras falhas de direção NE-SW podem ser inferidas através do padrão de drenagem das bacias hidrográficas na RMN, entretanto, não são destacadas por necessitar de dados complementares que comprovem a sua ocorrência.

As falhas de direção NW-SE predominam na RMN (**Figura 3.5**), e são responsáveis pela estruturação em *grabens* e *horsts* dos blocos falhados, com abatimento geral dos blocos de oeste para leste.

As principais estruturas associadas aos falhamentos NW-SE são os *grabens* do rio Trairi, de Natal e de Parnamirim, os altos de Ceará-Mirim, e os falhamentos que afetam o complexo lagunar do Bonfim, evidenciado principalmente pela geometria das lagoas que o compõe (**Figura 3.5**).

Os maiores abatimentos na RMN provavelmente aconteceram nos *grabens* de Natal e do rio Trairi. No *graben* de Natal o abatimento do bloco associado a neotectônica resultou nas maiores espessuras da formação Barreiras na área de estudo (IPT, 1982, SERHID, 1998a). No *graben* do rio Trairi, as espessuras da formação Barreiras são mais modestas, provavelmente devido à erosão ocasionada pelo desenvolvimento das drenagens dessa bacia hidrográfica, entretanto, é onde ocorrem as maiores espessuras dos sedimentos cretáceos, onde podem ultrapassar os 300 m (IPT, 1982; PEREIRA *et al.* 2002).



Estruturas

- Falha normal
- Lineamentos

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE, CPRM
Localização da área de estudo



Figura 3.5. Compartimentação tectono-estrutural da Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

Portanto, a estruturação tectônica na RMN condicionou a ocorrência de *grabens* e *horst* escalonados, em duas direções distintas: uma condicionada por falhas na direção NW/SE, com abatimentos dos principais blocos de oeste para leste; e outro com falhas de direção NE/SW, com abatimentos dos principais blocos de norte para sul.

A compartimentação estrutural também se reflete na morfologia da RMN, com a presença de terrenos aplainados dos tabuleiros costeiros e seus vales fluviais encaixados, o aspecto poligonal dos campos dunares e a disposição das principais drenagens segundo direções preferenciais, representando algumas das assinaturas da tectônica da área (LUCENA, 2005).

3.4 Hidrogeologia da RMN

As unidades aquíferas existentes na RMN são constituídas pelas unidades litoestratigráficas descritas anteriormente, ocorrendo no domínio da área de estudo o aquífero Cristalino, aquífero Açú, aquífero Jandaíra, aquífero das Rochas Carbonáticas, aquífero Barreiras, aquífero Dunas e aquífero Aluvial.

O aquífero Barreiras é a unidade aquífera mais importante, devido a sua elevada potencialidade hídrica, facilidades de captação e a excelente qualidade das águas em sua condição natural (MELO, 2009). Essas particularidades atribuem ao aquífero Barreiras a condição de principal fonte de suprimento hídrico com água potável no abastecimento de cidades, distritos e comunidades rurais em geral.

A seguir é feita uma descrição sucinta de cada unidade do sistema hidrogeológico da RMN com base nas referências bibliográficas.

Aquífero Cristalino

O aquífero Cristalino é constituído pelas rochas cristalinas da Província Borborema, de caráter fissural, onde as águas subterrâneas estão armazenadas nas zonas de fraqueza das rochas (fendas, fraturas e falhas) e aflora na porção oeste da área, no alto curso dos rios Trairi, Jundiá e Potengi (IPT, 1982; SERHID, 1998a).

É um aquífero de baixo potencial hidrogeológico no qual os poços perfurados produzem vazões em geral baixas, inferiores a 3 m³/h e as águas são de baixa qualidade com sólidos totais dissolvidos acima de 4.000 mg/L (SERHID, 1998a).

A recarga do sistema aquífero cristalino se processa através da infiltração e acumulação de águas de chuva nas fraturas e/ou falhas existentes. Considerando

que os terrenos cristalinos são impermeáveis gerando rápidos escoamentos superficiais, a hipótese mais provável é que as coberturas (aluviões e/ou regolitos), funcionem como elemento regulador que recebem, armazenam e transmitem águas de chuva às fissuras subjacentes (SERHID, 2004).

Aquífero Açú

Esse aquífero compõe a unidade basal na porção emersa da Bacia Potiguar, associado às rochas sedimentares cretáceas da formação Açú, tendo uma composição predominantemente siliciclástica, diretamente assentada sobre o aquífero Cristalino (IPT, 1982; SERHID, 1998a). Na RMN, sua ocorrência está restrita ao compartimento tectono-estrutural denominado Alto de Ceará-Mirim, que constitui o limite da Bacia Potiguar, com afloramento limitado na porção noroeste da área de estudo e sotoposto ao aquífero Jandaíra.

O aquífero Açú possui diferenciações estratigráficas, apresentando o principal reservatório em sua porção média/inferior, que é composta por arenitos pouco argilosos, feldspáticos, predominantemente quartzosos, médios a grossos, por vezes conglomeráticos. O topo da formação Açú, constituída por arenitos finos, siltitos e argilitos representa um aquífero de baixa potencialidade, por vezes configurando um aquífero que pode condicionar, nessas regiões, o confinamento do aquífero Açú (IPT, 1982; SERHID, 1998a).

Descontinuidades laterais do aquífero Açú podem ser atribuídas tanto à variações faciológicas verticais e horizontais impostas por interrupções naturais dos estratos nos processos deposicionais, como também devido a deslocamentos verticais (falhas normais) e horizontais (falhas transcorrentes), associadas a reativações tectônicas de antigos falhamentos ou zonas de cisalhamento do embasamento cristalino, e/ou desenvolvimento de novos sistemas de juntas e falhas pela tectônica recente que afetaram esses depósitos antigos (IPT, 1982; SERHID, 1998a).

A recarga do aquífero Açú em parte pode se proceder por infiltração direta das águas de chuva na zona aflorante (por exemplo, numa faixa entre Taipu e Ceará-Mirim, situada a oeste, além do limite da RMN). Além da infiltração direta, a recarga do aquífero Açú deve se estabelecer indiretamente através de intercâmbio hidráulico entre o aquífero Jandaíra, mediante drenança vertical descendente (IPT, 1982).

Na RMN a exploração do aquífero Açú se dá através de poços perfurados nas bacias hidrográficas de Maxaranguape e Ceará-Mirim.

Na bacia do Maxaranguape as profundidades dos poços variam entre 50 e 300 m e as vazões variam entre 10 e 30 m³/hora. As águas apresentam em geral salinidade acima do limite permitido para consumo humano, com resíduo seco entre 1.000 e 2.000 mg/L (SERHID, 1998a).

Na bacia do Ceará-Mirim as profundidades dos poços variam entre 50 e 300 m e as vazões variam entre 5 e 30 m³/hora. As águas apresentam também salinidade acima do limite permitido para consumo humano, com resíduo seco entre 1.000 e 2.000 mg/L (SERHID, 1998a).

Aquífero Jandaíra

O aquífero Jandaíra se instala na porção superior das sequências carbonáticas da formação Jandaíra, possuindo grande variação litológica, tanto vertical quanto horizontal e frequentemente apresentam indícios de carstificação. Separa-se do aquífero Açu na porção inferior por camadas de argilitos semi-permeáveis, que constituem aquitardes (IPT, 1982).

O aquífero Jandaíra se constitui em um aquífero cárstico-fissural, de natureza livre, caracterizado por apresentar porosidade por canais/conduitos/cavernas. A porosidade é desenvolvida pela circulação de águas subterrâneas e ligada a processos de circulação nas rochas carbonáticas ao longo de fraturas, planos de estratificação, que culminam com a formação de estruturas de natureza cárstica, como cavernas, canais de dissolução, dolinas e sumidouros, caracterizando o meio como sendo heterogêneo e anisotrópico (IPT, 1982; SERHID, 1998a).

Em trechos das bacias do Maxaranguape e Ceará-Mirim, o aquífero Jandaíra é recoberto pelo aquífero Barreiras, o qual provavelmente deve se constituir numa unidade hidráulica de transferência de águas e recarga do aquífero Jandaíra subjacente, tendo em vista que o Barreiras apresenta porosidade intergranular que facilita a recepção, armazenamento e transferência de águas de chuva para os estratos inferiores que irão alimentar o reservatório cárstico do aquífero Jandaíra (SERHID, 1998a).

No âmbito regional o aquífero Jandaíra possui espessuras que variam de 10 m até 500 m, com mediana de 200 m. De acordo com a SERHID (1998a), a exploração do aquífero Jandaíra se dá através de poços perfurados nas bacias hidrográficas de Maxaranguape e Ceará-Mirim.

Na bacia do Maxaranguape as profundidades médias dos poços são de 50 m e as vazões variam entre 5 e 30 m³/h. As águas apresentam resíduo seco entre 500 e 4.000 mg/L, ou seja, em alguns casos se tem águas com teores salinos permitidos para consumo humano (SERHID, 1998a).

Na bacia do Ceará-Mirim as profundidades dos poços variam entre 30 e 150 m e as vazões variam entre 5 e 30 m³/hora. As águas também apresentam casos com teores salinos permitidos para consumo humano, com resíduo seco entre 500 e 4.000 mg/L (SERHID, 1998a).

Na RMN sua área de ocorrência está restrita ao extremo noroeste, limitado ao Alto de Ceará-Mirim, no município de Ceará-Mirim, em uma área aflorante muito reduzida ou sobreposta ao aquífero Açú.

Aquífero das Rochas Carbonáticas

O aquífero das Rochas Carbonáticas é constituído pelos sedimentos cretáceos que recobrem o embasamento cristalino e na RMN ocorre principalmente em subsuperfície, sotoposto ao aquífero Barreiras, no domínio da sub-bacia Paraíba.

As informações referentes a esse aquífero são bastante restritas. O PERH (SERHID, 1998a) admite que essa unidade apresente características de aquífero, com produtividades insignificantes, desempenhando o papel de substrato para o aquífero Barreiras.

No caso da conformação de um aquífero, a ocorrência de água estaria possivelmente associada a uma permeabilidade secundária localizada, resultante da reativação terciária dos antigos falhamentos que afetam a bacia (SERHID, 1998a).

Aquífero Barreiras

O aquífero Barreiras possui elevado potencial hidrogeológico no âmbito do litoral oriental (IPT, 1982), constituindo-se no principal aquífero em termos de exploração na RMN (MELO, 1995; SERHID, 1998a; SERHID, 2004). É composto principalmente pelos sedimentos inferiores mais arenosos da formação Barreiras e ocorre em superfície por praticamente toda a área de estudo, exceto na linha de costa, onde é recoberto pelo aquífero Dunas, no vale dos principais rios onde é recoberto pelo aquífero Aluvial e nas áreas de afloramento dos aquíferos cristalinos e das rochas carbonáticas.

Na parte inferior o aquífero Barreiras é limitado pelas rochas carbonáticas cretáceas, que devido as suas características hidrodinâmicas, desempenham principalmente a função de aquífero (IPT, 1982; MELO, 1995; SERHID, 1998a; SERHID, 2004).

O aquífero Barreiras apresenta uma geometria tabular, com estratos praticamente horizontais arenosos e argilosos de espessuras variadas. Na porção inferior é

constituído predominantemente por arenitos de textura variada, apresentando níveis finos a grossos, algumas vezes com cascalhos e seixos. As intercalações argilosas ocorrem com frequência, reduzindo as potencialidades hidrogeológicas e aumentando a complexidade do sistema. A parte superior é marcada por níveis mais argilosos e heterogêneos que podem produzir semi-confinamentos localizados, embora se admita atualmente que o caráter de aquífero livre seja dominante, principalmente em escala regional (SERHID, 1998a; SERHID, 2004).

A espessura do aquífero Barreiras é fortemente condicionada pela compartimentação estrutural e influenciada pela morfologia da RMN. No geral, possui as maiores espessuras (total e saturada) no *graben* de Natal e na linha de costa, onde as espessuras total e saturada podem atingir, respectivamente, até 180 m e 80 m. As menores espessuras ocorrem na porção ocidental da área, próximo ao contato com o embasamento cristalino e no vale dos principais rios, especialmente o Trairi (IPT, 1982; CAERN, 1995; SERHID, 1998a; SERHID, 2004).

O fluxo subterrâneo das águas do aquífero Barreiras segue o padrão geral de aquíferos livres e costeiros, com linhas de fluxo em direção as principais drenagens e em direção ao mar, que se constitui no seu principal exutório natural (IPT, 1982; SERHID, 1998a; SERHID, 2004; SEMARH, 2010). A descarga de grandes volumes de águas no Oceano Atlântico através das vazões de fluxo subterrâneo contribui para a manutenção do equilíbrio da interface água doce/água salgada (IPT, 1982; SERHID, 1998a).

As potencialidades do aquífero Barreiras estão condicionadas principalmente às infiltrações diretas das águas de chuva, cujo volume efetivamente infiltrado restituem as reservas de águas subterrâneas que se perdem nos escoamentos naturais e na exploração por poços. Por definição, em condições de equilíbrio, sem considerar a exploração por poços, a infiltração eficaz é equivalente à vazão do fluxo subterrâneo natural (MELO *et al.* 2005).

Os valores regionais médios de transmissividade definidos para o aquífero Barreiras são da ordem de $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (SERHID, 1998a) e os poços apresentam vazões específicas de até $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (IPT, 1982). As maiores transmissividade na RMN nas faixas entre os municípios de Extremoz e Natal, e entre Natal e Nísia Floresta (SERHID, 1998a).

As águas são naturalmente de boa qualidade e se adequam praticamente para todos os usos, com sólidos totais dissolvidos geralmente inferiores a 150 mg/L (SERHID, 1998a). Entretanto, nos últimos anos, vem aumentando a contaminação por nitratos, principalmente nas zonas urbanas de Natal e Parnamirim, ocasionada principalmente pela disposição de efluentes domésticos

(CAERN, 1988; MELO, 1995; CAERN, 1995; CAERN, 1998; SERHID, 1998a; NASCIMENTO, 2001; CARVALHO JUNIOR, 2001; VASCONCELOS, 2002; SERHID, 2005).

O aquífero Barreiras também exerce uma importância muito grande na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas inseridos na RMN. A ressurgência das águas subterrâneas nas redes de drenagens que originam o fluxo de base, em geral, pereniza os trechos entre o médio e baixo cursos dos rios/riachos costeiros, mantendo suas vazões ecológicas em épocas de estiagem. Essa contribuição do aquífero permite a criação dos chamados “vales úmidos” (que na região estudada abrange os baixos cursos dos rios Maxaranguape, Ceará-Mirim, Potengi, Pirangi, Trairi), que compreendem os trechos perenizados dessas bacias hidrográficas (SERHID, 1998a).

Os primeiros trabalhos desenvolvidos na RMN, principalmente no município de Natal, consideravam o aquífero Barreiras uma unidade independente do aquífero Dunas sotoposto, os quais eram separados por um aquítarde composto pelas camadas argilosas da porção superior da formação Barreiras (CAERN, 1970; IPT, 1981; IPT, 1982; CAERN, 1988). Em meados da década de 1990 foi proposto um novo modelo conceitual, o qual considera os aquíferos Barreiras e Dunas como um sistema hidráulico único, indiferenciado e interconectado, formando o Sistema Aquífero Dunas/Barreiras (MELO, 1995; CAERN, 1995; SERHID, 1998a) ou, como será denominado neste trabalho, Sistema Aquífero Barreiras (SAB).

Nesse contexto, a ocorrência do sistema aquífero Dunas (o qual será discutido abaixo) desempenha importância fundamental na manutenção do aquífero Barreiras, tanto em termos de quantidade e qualidade, através da incrementação da recarga do aquífero Barreiras, onde estes ocorrem em conjunto (MELO, 1995; CAERN, 1995; SERHID, 1998a).

Aquífero Dunas

O aquífero Dunas é composto por areias finas homogêneas, de cores cinza, esbranquiçada, marrom, alaranjada, ou avermelhada. Devido aos aspectos dimensionais reduzidos, de uma forma geral, os sedimentos de dunas na região costeira oriental do Estado do Rio Grande do Norte não constituem uma unidade aquífera de grande potencial, cujos poços apresentam profundidade média de 5 m e vazão de captação média da ordem de 1 m³/h (SERHID, 1998a).

Caracteriza-se como um aquífero tipicamente livre com elevada porosidade e condutividade hidráulica (SERHID, 1998a). Nos domínios de ocorrência das dunas o padrão de drenagem é difuso, no geral, com a ausência de rios/riachos, devido à alta taxa de infiltração das águas das chuvas.

Apesar do baixo potencial desse aquífero, contribui fortemente para a recarga do aquífero Barreiras subjacente, principalmente onde existe uma forte comunicação hidráulica entre os aquíferos Dunas e Barreiras, configurando o padrão regional de ocorrência de um sistema hidráulico único, denominado por diversos autores como Sistema Aquífero Dunas/Barreiras (MELO, 1995; CAERN, 1995; SERHID, 2004).

Devido ao seu caráter livre, alta porosidade e condutividade, apresenta alta vulnerabilidade natural, o que consiste em um risco também para a contaminação do aquífero Barreiras subjacente.

Aquíferos Aluvionares

Correspondem aos depósitos sedimentares fluviais que ocorrem ao longo do vale dos rios Maxaranguape, Ceará-Mirim, Potengi, Pirangi, Trairi e outros menores, exceto aqueles depósitos associados à foz dos rios, e que formam os sedimentos de mangues e flúvio-marinhos da linha de costa.

O aquífero Aluvionar compreende litologicamente areias, siltes e argilas, podendo apresentar grandes variações faciológicas laterais e verticais em função da própria dinâmica sedimentar dos depósitos fluviais (SERHID, 1998a; SERHID, 2004).

Na região costeira, em geral, não se configura como uma unidade aquífera de grande aproveitamento, em função das suas pequenas dimensões, e de sua grande vulnerabilidade à contaminação química e bacteriológica, tendo em vista que diversas atividades rurais (moradias, agricultura, pastos, etc.) são desenvolvidas ao longo desses mananciais, gerando grande número de fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas rasas nesse aquífero (SERHID, 1998a).

Na **Tabela 3.2** apresentam-se os dados de potencialidades, produtividade e salinidade média das águas dos aquíferos inseridos na RMN, que representam a média dos valores encontrados nas bacias hidrográficas dos rios Maxaranguape, Ceará-Mirim, Doce, Potengi, Pirangi e Trairi. Ressalva-se que os dados regionais apresentados para o aquífero aluvionar se referem às condições de exploração no domínio dos terrenos cristalinos, que ocorrem nos setores do alto e médio curso das bacias hidrográficas costeiras.

Tabela 3.2. Recursos hídricos das unidades aquíferas da RMN							
Bacia Hidrográfica	Aquífero	Área Km ²	Disp. x10 ⁶ m ³ /ano	Pot. x10 ⁶ m ³ /ano	Prof. m	Q _m m ³ /h	Resíduo Seco mg/L
Maxaranguape	Dunas	106,9	0	0,29	5	1	<250
	Aluviões	-	-	-	-	-	-
	Barreiras	432,4	4,4	69,74	40 a 60	10-100	<250
	Jandaíra	908,1	1,14	2,36	80	5-30	500-4000
	Açu	934	2,73	0,41	250-400	10-30	1000-2000
Ceará-Mirim	Dunas	23,9	0	0,24	5	-	<250
	Aluviões	-	1,36	2,19	6	1	>4000
	Barreiras	309,2	5,1	268,09	50-130	3-6	<250
	Jandaíra	178,7	2,1	4,38	30-150	30-100	500-4000
	Açu	563,9	5,75	0,87	50-300	5-30	1000-2000
	Cristalino	1852	1,01	1,01	50	5-30	>4000
Rio Doce	Dunas	24,3	0	0,09	5	1-2	<250
	Barreiras	240,1	8	43,16	50-130	-	<250
Potengi	Dunas	10,5	0	0	5	1	<250
	Aluviões	-	2,77	4,46	6	30-100	>4000
	Barreiras	551	11,43	218,53	30-130	-	250-500
	Jandaíra	5,5	0,01	0,03	50-70	1	1000-2000
	Cristalino	3627	2,05	2,05	50	3-6	>4000
Pirangi	Dunas	63,5	0	0,18	5	10-100	<250
	Barreiras	423,7	20	53	30-130	5-10	<250
Trairi	Dunas	4,6	0	0,34	5	1-2	<250
	Aluviões	-	1,5	2,41	6	-	>4000
	Barreiras	811,4	10,67	168,96	20-130	1	250-500
	Cristalino	2018	1,11	1,11	50	10-150	>4000

Fonte: SERHID, 1998a.

Disp.: Disponibilidade - refere-se aos volumes de água explorados dos aquíferos através de poços, expressa em milhões de metros cúbicos por ano.

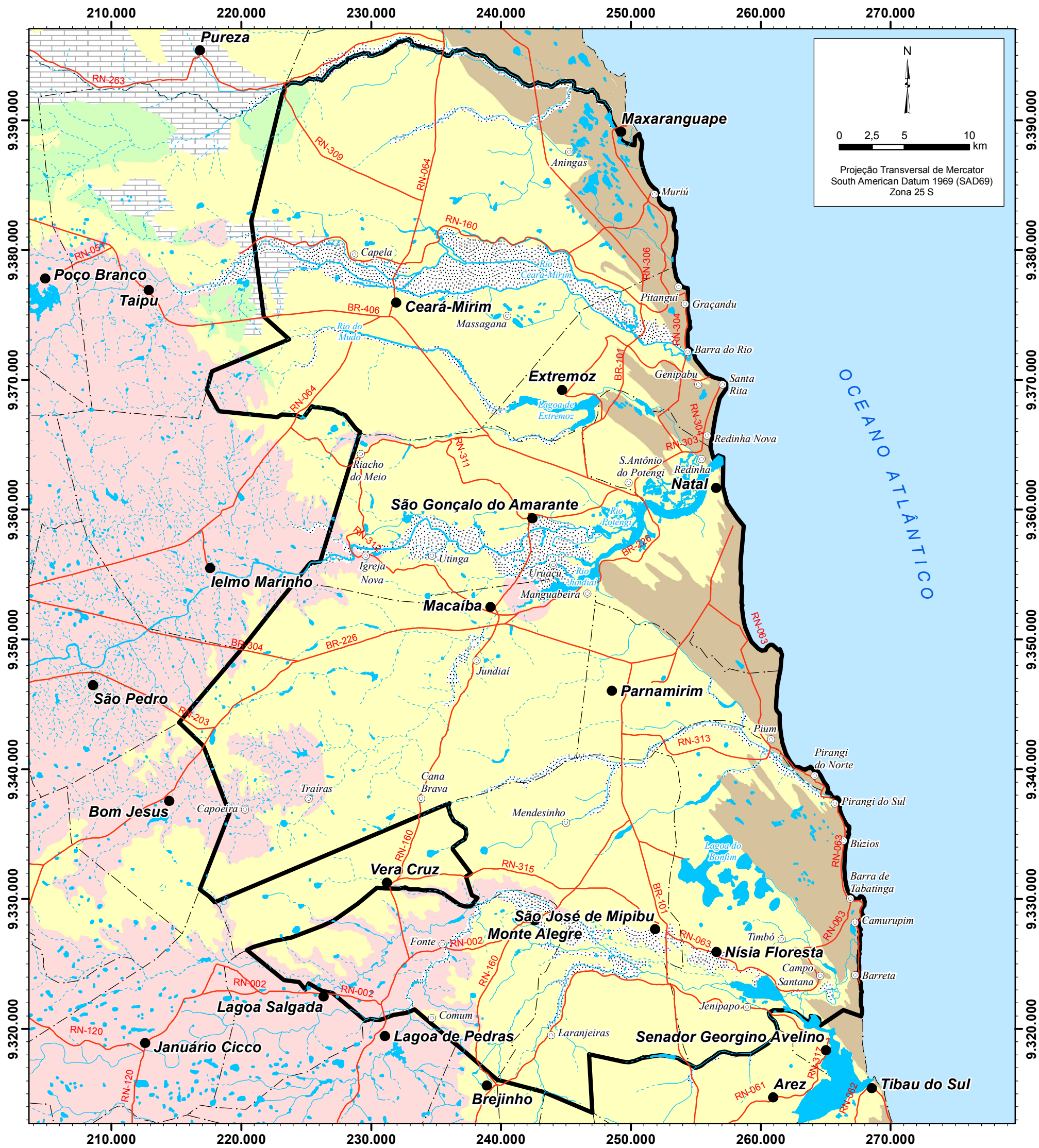
Pot.: Potencialidade - refere-se às reservas exploráveis que podem ser extraídas sem comprometer o equilíbrio dos sistemas aquíferos, expressa em milhões de metros cúbicos anuais.

Prof.: profundidade média dos poços considerados para os cálculos no referido estudo, expressa em metros.

Q_m: vazão média dos poços, expressa em metro cúbico por hora.

(-): dados não disponíveis.

A **Figura 3.6** apresenta a distribuição espacial das unidades aquíferas aflorantes na RMN, com base no mapa geológico (**Figura 3.4**).



N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator
South American Datum 1969 (SAD69)
Zona 25 S

Unidades Aquíferas

- Aluvionar
- Dunas
- Barreiras
- Jandaíra
- Açú
- Cristalino

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



Figura 3.6. Unidades aquíferas da Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

SEMARH
SECRETARIA DE ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Servmar
AMBIENTAL & ENGENHARIA

4 ESTUDOS CLIMATOLÓGICOS E AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA

O presente estudo objetivou o levantamento de dados climáticos e hidrológicos existentes, visando à caracterização hidrológica da área de interesse, bem como ao estudo climatológico, permitindo calcular o balanço hídrico da RMN.

Os dados sobre o excedente hídrico, a recarga e os deflúvios das bacias hidrográficas, obtidos nesta etapa do estudo e demonstrados neste capítulo, serão utilizados na discussão sobre os cálculos das reservas, das potencialidades e do balanço hidrogeológico, discutidos nos capítulos específicos deste relatório.

Neste item são apresentados os dados utilizados para caracterização climática e hidrológica da Região Metropolitana de Natal (RMN).

4.1 Estudos Climatológicos

Os dados climatológicos têm por objetivo subsidiar as informações necessárias para elaboração do balanço hídrico, a partir do qual se obtém, entre outros parâmetros, o excedente hídrico e a taxa de recarga do aquífero. Neste estudo, o cálculo do balanço hídrico foi desenvolvido com base na metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), adaptada para permitir a determinação da recarga natural na RMN. Na metodologia aplicada são utilizados como dados de entrada: a precipitação média mensal, a temperatura média mensal e a posição geográfica do local onde foram coletados os dados.

O Estado do Rio Grande do Norte apresenta uma grande variação no volume de chuvas. Na RMN observa-se uma diminuição no volume de chuvas do litoral para o interior do continente (no sentido leste-oeste), a partir do município de Natal em direção aos municípios limítrofes da área de estudo (Ceará-Mirim, São Gonçalo do Amarante, Macaíba e Monte Alegre), conforme apresentado na **Figura 4.1**.

O Estado do Rio Grande do Norte, devido a sua posição geográfica, sofre influência direta de dois Sistemas de Correntes Perturbadas: a norte e a leste. No inverno, o estado pode ser atingido por algumas repercussões de Frentes Frias quando estas conseguem sobrepor às latitudes mais baixas, ocasionando chuvas frontais e pós-frontais ao longo do litoral, enquanto que o sertão do estado fica sob atuação da Alta Tropical do Atlântico Sul, com tempo estável (NIMER, 1979).

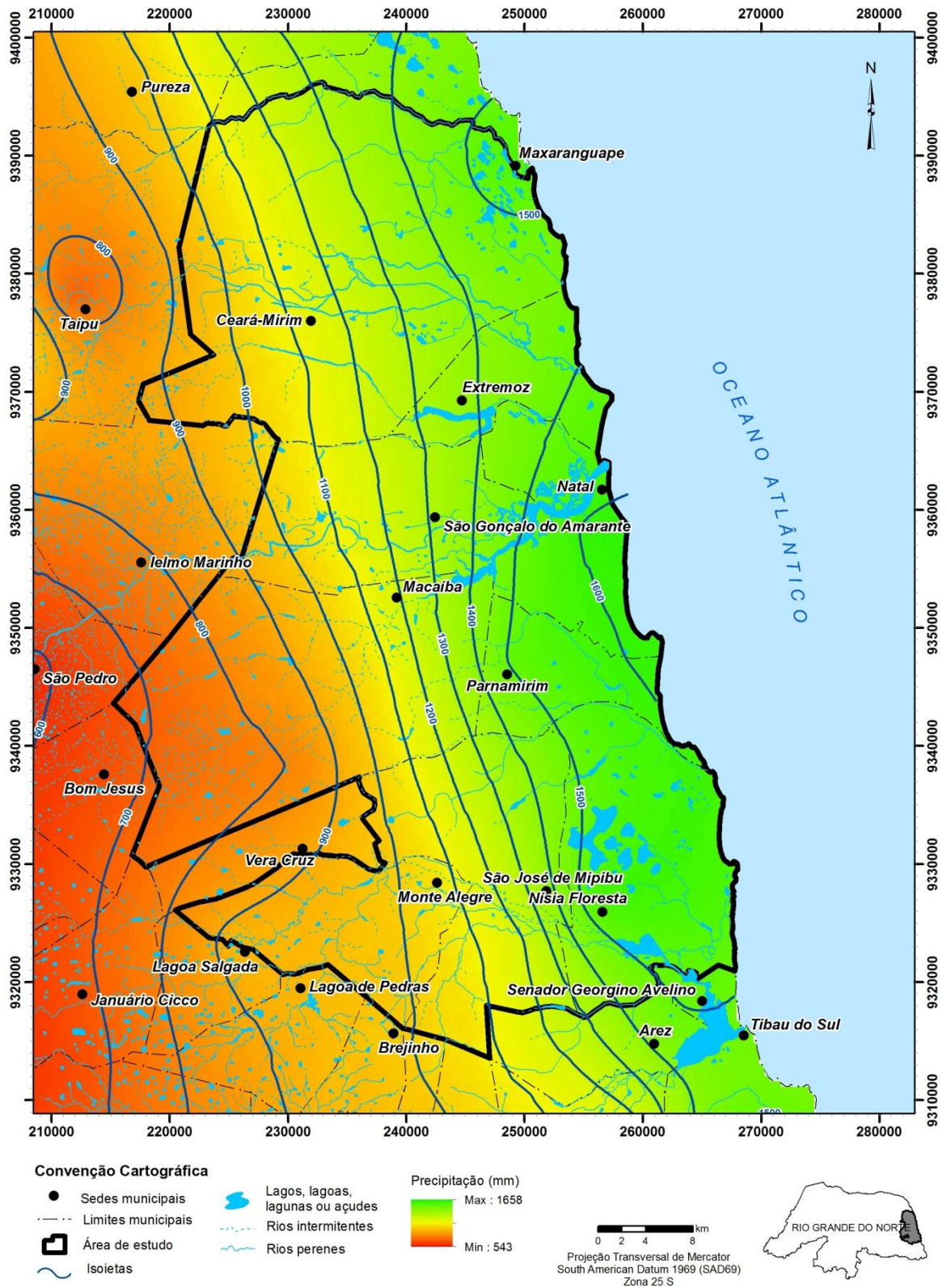


Figura 4.1. Regime pluviométrico na Região Metropolitana de Natal

O litoral potiguar, em particular o litoral leste/Meridional, sofre a ação direta da Zona de convergência Intertropical-ZCIT, com chuvas de outono nos meses de março, abril e maio; e das ondas de leste, caracterizadas pela sua capacidade de causar precipitações acentuadas ao longo de sua trajetória, principalmente nos meses de junho, julho e agosto (FADE-UFPE, 2006). A RMN está inserida em uma região que corresponde a um clima tropical chuvoso com mínimos de precipitação durante o verão (AMARAL, 2000 *apud* FADE-UFPE, 2006).

Segundo a classificação climática proposta por Thornthwaite, o clima na RMN é do tipo C1dA'a', definido como seco e sub-úmido, com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico e com baixa variação estacional (SERHID, 1998a).

Para avaliação detalhada da pluviometria na RMN foram utilizados os dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN (EMPARN) das Estações Climatológicas e Postos Pluviométricos inseridos na área (**Tabela 4.1**).

Tabela 4.1. Postos pluviométricos e estações climatológicas na RMN			
Município	Latitude	Longitude	Operador
Ceará-Mirim ¹	5°39'	35°39'	INMET
Macaíba (Piripiri) ²	5°54'	35°22'	EMPARN
Parnamirim ²	5°54'	35°16'	EMPARN
Natal (UFRN) ¹	5°48'	35°13'	INMET
Monte Alegre ²	6°04'	35°20'	EMPARN
Nísia Floresta ²	6°05'	35°12'	EMPARN
São José de Mipibu ²	6°07'	35°16'	CENTERN

Fonte: dados disponibilizados pela EMPARN; 1 - Estação climatológica ; 2 - Posto pluviométrico.

A **Tabela 4.2** apresenta as médias mensais de chuvas dos postos pluviométricos e estações climatológicas citados acima, com a indicação da série histórica correspondente a cada estação.

A partir dos dados da **Tabela 4.2** foi elaborada a **Figura 4.2** que apresenta a precipitação média anual para as séries históricas disponibilizadas. É possível verificar que a precipitação é maior nos municípios localizados a leste, na linha de costa (Natal, Parnamirim e Nísia Floresta), em relação aos municípios que estão localizados mais no interior do continente (Monte Alegre e Macaíba), concordando com o que foi apresentado na **Figura 4.1**. As maiores médias históricas anuais de precipitação foram verificadas nos municípios de Natal (1609 mm), Nísia Floresta (1585 mm) e Parnamirim (1539 mm) e as menores nos municípios de Monte Alegre (1050 mm) e Macaíba (1091 mm).

Tabela 4.2. Precipitações médias mensais na RMN

Local	Série Histórica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Ceará-Mirim	1911-2010	57,9	93,2	159,8	185,2	160,7	175,3	135,5	68,3	31,3	15,1	14,1	21,8	1.118,2
Macaíba	1911-2010	57,3	90,7	149,0	177,5	159,2	172,7	129,2	72,3	29,3	13,4	16,4	24,2	1.091,2
Parnamirim	1995-2010	117,9	107,8	176,6	225,4	225,6	266,5	196,3	112,1	42,3	13,8	19,0	35,9	1.539,2
Natal	1911-2010	63,2	107,4	207,0	254,2	240,8	282,8	218,8	119,3	51,1	19,2	19,8	25,8	1.609,4
Monte Alegre	1992-2010	72,8	67,4	134,3	165,7	123,0	193,9	127,2	77,0	28,6	9,4	16,0	35,6	1.050,9
Nísia Floresta	1992-2010	97,0	111,2	188,0	233,0	193,4	284,6	205,8	129,9	50,8	23,3	24,2	44,4	1.585,6
S.J. de Mipibu	2004-2010	107,2	78,4	129,7	203,5	152,3	251,4	106,3	96,9	16,7	0,9	5,9	17,2	1.166,4

Fonte: dados disponibilizados pela EMPARN

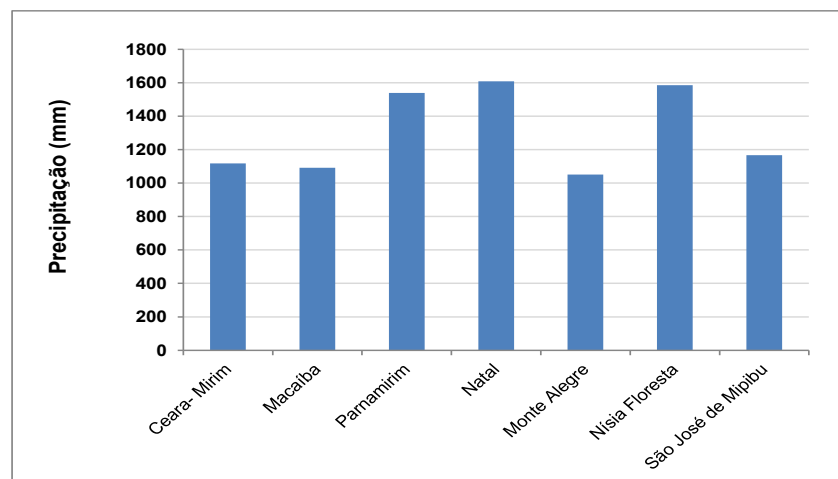


Figura 4.2. Precipitação média anual na RMN

Como as séries históricas apresentam períodos muito distintos, foram avaliados os dados entre os anos de 2000 e 2010 de cada estação e posto (**Figura 4.3** e **Tabela 4.3**), com exceção de São José de Mipibu, que foi excluída dessa análise por apresentar uma série menor que 11 anos.

Verifica-se que os valores médios anuais para o período entre 2000 e 2010 são ligeiramente maiores que das médias históricas em todas as estações e postos analisados, indicando aumento da pluviosidade nos últimos anos na RMN. No município de Monte Alegre foi verificado o menor aumento (4%) enquanto que em Ceará-Mirim (19%) ocorreu o maior aumento na média anual entre os municípios da RMN.

Apesar dessa tendência de aumento na precipitação para os últimos anos, verifica-se que a distribuição nos volumes se mantém em relação as séries históricas completas, ou seja, os maiores volumes continuam ocorrendo nos municípios de Natal, Nísia Floresta e Parnamirim e os menores volumes em Monte Alegre e Macaíba (**Tabela 4.3**).

Tabela 4.3. Precipitação média anual na RMN		
Local	Precipitação Média (mm/ano)	
	2000-2010	Completa⁽¹⁾
Ceará-Mirim	1.380,7	1.118,2
Macaíba	1.317,4	1.091,2
Parnamirim	1.644,4	1.539,2
Natal	1.898,6	1.609,4
Monte Alegre	1.091,4	1.050,9
Nísia Floresta	1.670,0	1.585,6
São José de Mipibu	(2)	1.166,4

(1) Precipitação média anual da série histórica completa

(2) Dados insuficientes no período

Com os dados de precipitação média mensal, fornecidos pela EMPARN de todos os municípios estudados, foi elaborada a **Figura 4.4** com o intuito de avaliar a distribuição espacial dos volumes de precipitação analisados nos postos pluviométricos durante um ano hidrológico.

A **Figura 4.4** mostra um comportamento similar na distribuição de chuvas durante o ano nos municípios da RMN, sendo observado um período chuvoso definido, que ocorre entre março e julho, atingindo o pico de chuvas no mês de junho. No mês de agosto as chuvas começam a diminuir e o período de estiagem ocorre de setembro a dezembro, sendo outubro o mês mais seco do ano.

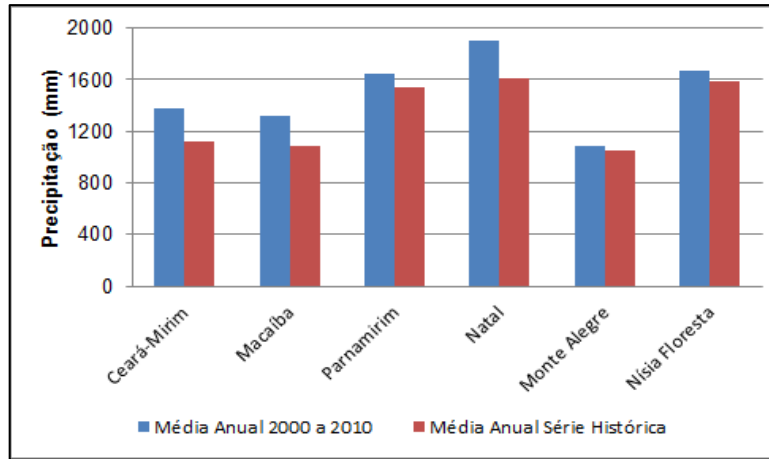


Figura 4.3. Precipitação média anual na RMN

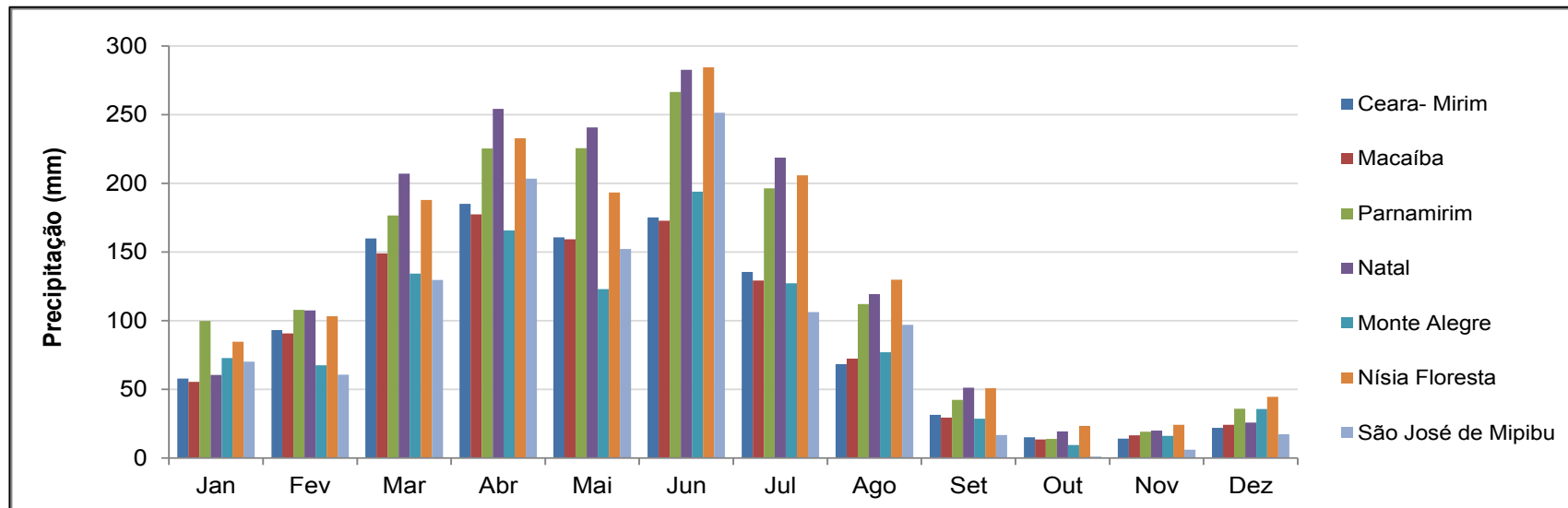


Figura 4.4. Pluviometria média mensal na Região Metropolitana de Natal

Com o intuito de se observar a recorrência de anos com maiores volumes de chuvas e anos muito secos foi elaborada a **Figura 4.5**, que apresenta a pluviometria total na série histórica estudada, para cada ano que possui os dados completos, para as estações de Ceará-Mirim e Natal, conforme dados fornecidos pela EMPARN.

A estação localizada no município de Natal apresenta precipitações maiores que as observadas na estação de Ceará-Mirim. Em Natal, predominam volumes acima de 1.000 mm, com média da série histórica apresentada de 1.609 mm. O período entre os anos de 1951 e 1954 é marcado pela maior estiagem da série analisada, onde a precipitação não atingiu 1.000 mm, com os menores valores abaixo de 700 mm, em 1953 e 1954 (**Figura 4.5**). Este comportamento também foi observado na estação de Ceará-Mirim, indicando que o comportamento das chuvas foi similar em ambas as estações demonstradas.

Outra tendência apontada no gráfico é o aumento de precipitações anuais a partir da década de 60, com maior intensidade a partir da década de 80, quando ocorrem com maior frequência anos com precipitações que ultrapassam as médias históricas de 1.609 mm em Natal e de 1.118 mm em Ceará-Mirim (**Figura 4.5**).

Para avaliação dos demais dados climatológicos foram utilizados os dados da estação meteorológica de Natal, que possui localização central na área de estudo, e Ceará-Mirim, localizada na região norte da área estudada. Na **Tabela 4.4** são apresentadas as séries históricas de 1961 a 2010 para Natal e 1971 a 2010 para Ceará-Mirim, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. A estação está localizada nas instalações do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Apenas a estação climatológica de Natal possui dados disponíveis de velocidade dos ventos.

A partir dos dados climatológicos do INMET compilados na **Tabela 4.4**, foram elaboradas as **Figura 4.6 a 4.9** que mostram, respectivamente, a variação da temperatura média, evaporação total, umidade relativa e insolação total nas estações de Natal e Ceará-Mirim.

Conforme mostra a **Figura 4.6**, a região estudada, por situar-se a baixas latitudes e em uma região de clima tropical, apresenta temperaturas elevadas o ano todo, além de baixa amplitude térmica, com média anual de 29,6°C em Natal e 25,4°C em Ceará-Mirim, comprovando a tendência de diminuição da temperatura do litoral para o interior do estado. Em ambos os municípios, a temperatura tende a cair a partir de maio, atingindo a menor média no mês de julho em Natal (28,2°C) e setembro em Ceará-Mirim (23,4°C). A partir de setembro a temperatura tende a subir, sendo que em Natal a maior média foi registrada em fevereiro (30,7°C) e em Ceará-Mirim no mês de janeiro (26,4°C).

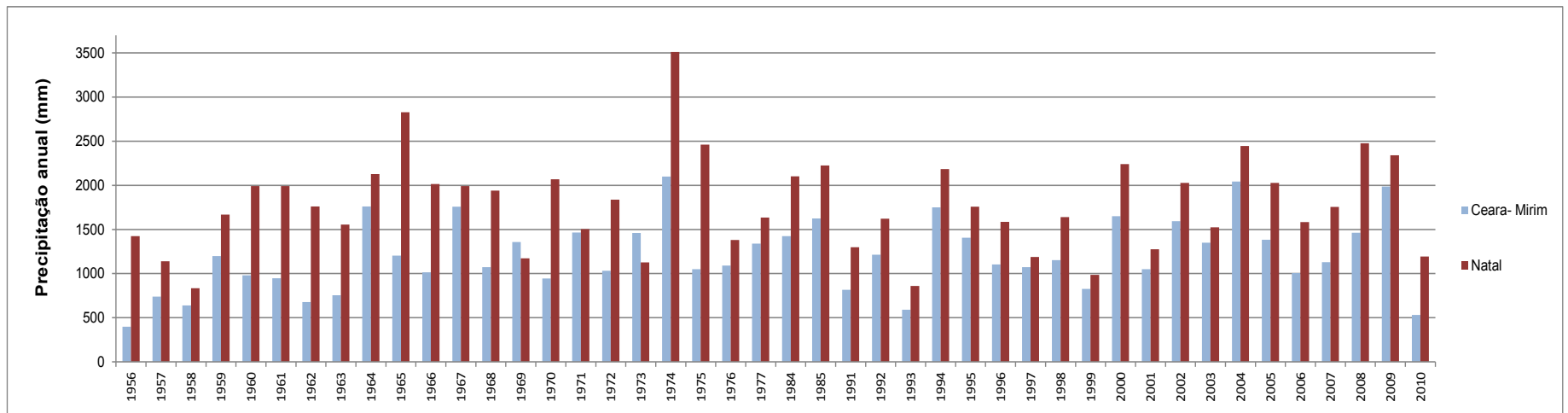
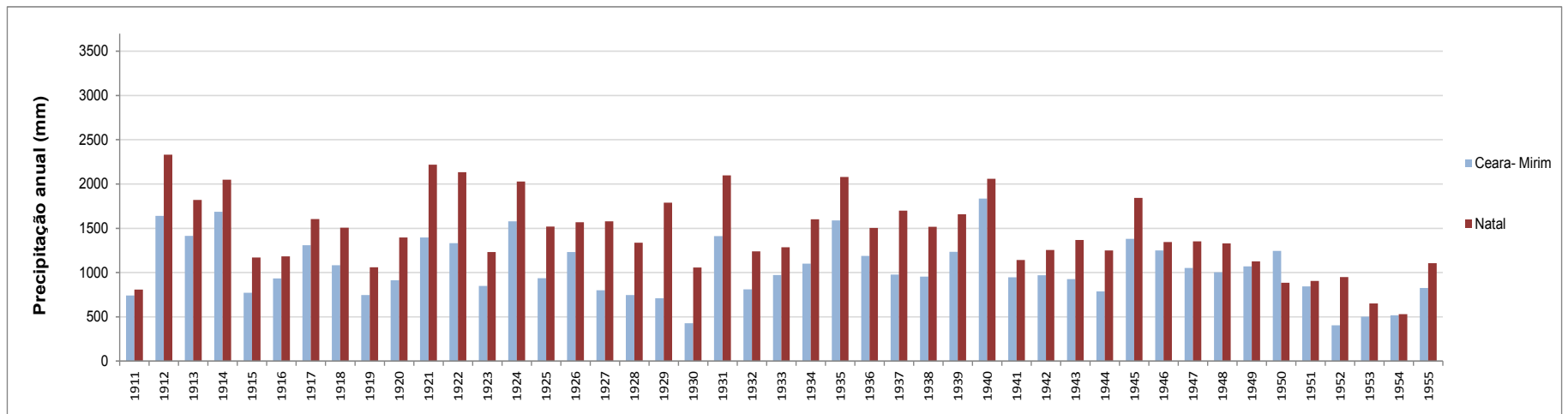


Figura 4.5. Pluviometria anual para o período entre 1911 e 2010 na Região Metropolitana de Natal

Tabela 4.4. Dados climatológicos das estações de Natal e Ceará-Mirim**TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (°C)**

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ceará-Mirim	26,4	26,5	26,3	26,1	25,4	25,2	24,0	24,2	23,4	24,7	25,9	26,3
Natal	30,4	30,7	30,4	30,1	29,8	28,6	28,2	28,5	29,0	29,7	30,0	30,3

EVAPORAÇÃO TOTAL (mm)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ceará-Mirim	168,1	142,8	119,0	54,0	90,8	93,1	93,6	118,6	134,9	176,3	181,3	181,0
Natal	212,0	188,2	177,4	137,5	139,9	119,4	139,1	164,9	198,8	247,1	224,8	222,6

UMIDADE RELATIVA MÉDIA (%)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ceará-Mirim	77	78	81	83	84	84	84	80	77	75	74	75
Natal	78	79	80	83	83	84	83	80	78	76	78	78

INSOLAÇÃO TOTAL (Horas e décimos)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ceará-Mirim	254,7	205,6	198,9	173,6	193,8	178,0	192,8	235,6	248,2	253,2	279,9	262,9
Natal	243,3	223,4	223,1	205,6	227,2	193,3	214,8	243,5	262,4	290,5	281,0	277,9

VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS (km/h)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Natal	4,3	4,3	3,7	3,7	4,0	4,0	4,2	4,8	5,1	5,1	4,7	4,5

Fonte: INMET, 2011

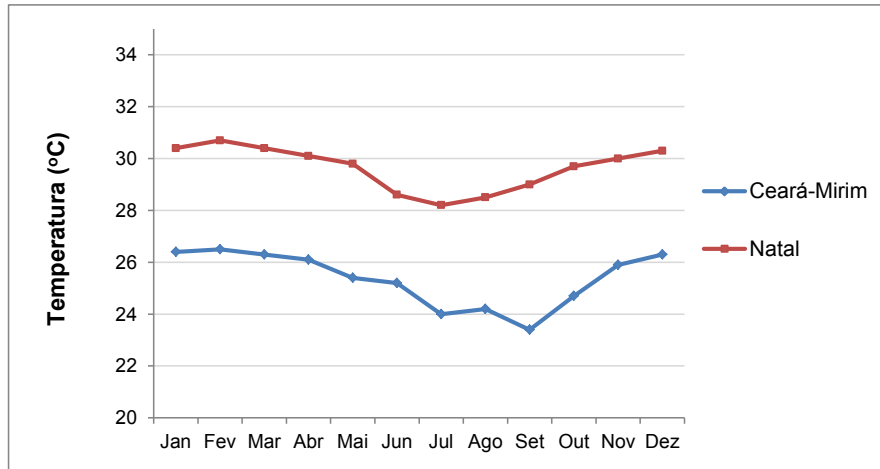


Figura 4.6. Temperatura média mensal (°C)

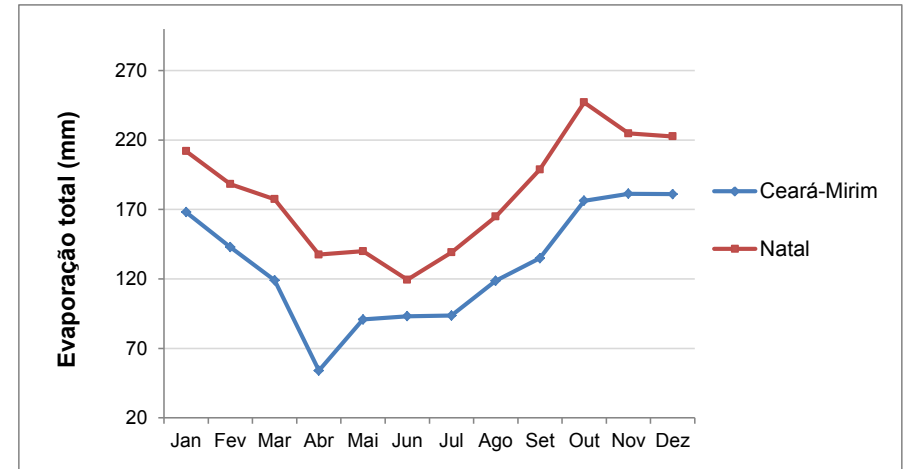


Figura 4.7. Evaporação total mensal (mm)

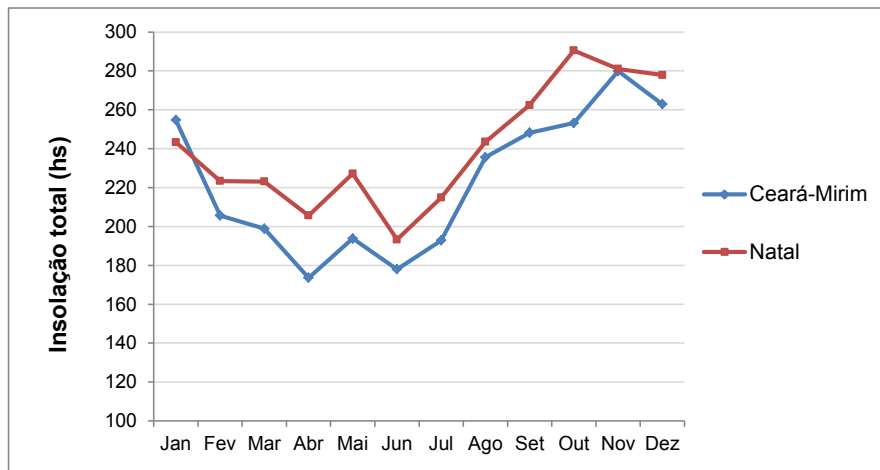


Figura 4.8. Insolação total (horas e décimos)

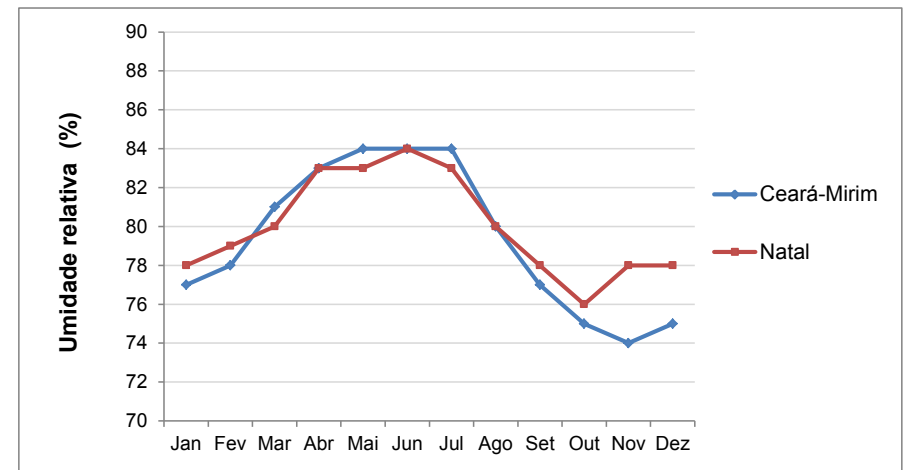


Figura 4.9. Umidade relativa do ar (%)

A **Figura 4.7** mostra que a evaporação é mais intensa na área nos meses de outubro a dezembro, coincidindo com período de maiores médias de temperatura registradas em Natal e Ceará-Mirim.

A insolação no nordeste brasileiro é elevada atingindo valores da ordem de 3.000 h/ano e este índice é o principal responsável pelas altas taxas de evaporação do nordeste (SERHID, 1998a). A insolação total é apresentada na **Figura 4.8**, onde se nota que os meses de maiores incidências coincidem com o período de maior evaporação, de outubro a dezembro. A **Figura 4.8** evidencia uma insolação alta durante o ano todo no período estudado, sendo que as médias mensais de Natal são maiores que de Ceará-Mirim.

A Região Metropolitana de Natal, em especial a cidade de Natal, devido a sua posição geográfica, está situada em uma área de forte influência dos ventos alísios de SE, que sopram praticamente durante todo o ano no mesmo sentido e direção, do Oceano Atlântico para o continente (SERHID, 1998a), favorecendo a manutenção de estabilidade da umidade relativa do ar, sempre a patamares superiores a 70% (**Figura 4.9**). O período que apresenta os maiores valores de umidade relativa do ar, entre abril e julho, coincide com os meses de maior registro de pluviometria na área de estudo.

Os ventos que sopram na cidade de Natal são 86% de sudeste com pouca intensidade, porém contínuos, com média anual de 4,4 km/h (**Tabela 4.4**). São qualificados como os Ventos de Alísios de Sudeste, oriundos do Oceano Atlântico, responsável pela estação chuvosa nos meses de março a julho, seguido de ventos sul que proporcionam os meses estivais (MEDEIROS, 2001).

Para a estimativa do balanço hídrico climatológico da área foi utilizada a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), modificada segundo técnicas desenvolvidas pelo Laboratório de Modelos Físicos do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (LAMO – IGc/USP), de acordo com a equação:

$$P = ESC + \Delta ARM + ETR + R \quad (1)$$

Onde:

P é a precipitação (mm);

ESC é o escoamento superficial (mm),

ΔARM é a variação no armazenamento de água na zona não-saturada (mm);

ETR é a evapotranspiração real (mm); e

R é a recarga (mm).

As adaptações na metodologia do balanço climatológico proposta pelo LAMO-IGc/USP, consideram o desmembramento do excedente hídrico em escoamento e recarga, utilizando-se das características físicas do terreno que influenciam o escoamento superficial, classificando as regiões em função do tipo de solo e da declividade.

O escoamento superficial está intrinsicamente associado ao tipo de cobertura do terreno, ao grau de saturação dessa cobertura e à sua declividade. Quanto maior o teor de argila dos estratos que compõem o terreno, o seu grau de saturação e a sua declividade, maior será o escoamento superficial. Em contrapartida, baixas declividades, estratos predominantemente arenosos e baixo grau de saturação favorecem uma alta infiltração e, conseqüentemente, menor escoamento superficial.

A avaliação do coeficiente de escoamento superficial na área de estudo foi realizada através de uma adaptação do método proposto por Fenn *et al.* (1975). Para isso, foi realizado o levantamento de tipo de solos existentes na área, elaborado o modelo de declividade do terreno e definidas as estações secas e chuvosas.

O mapa de tipos de solo (**Figura 4.10**) foi obtido na página do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na internet, na escala 1:500.000. Predominam na área os latossolos amarelos e os sedimentos eólicos das dunas e paleodunas, estas duas últimas restritas a linha de costa. Há também ocorrência de argissolo vermelho, planossolo e gleissolo, este último restrito a há uma área entre Extremoz e São Gonçalo do Amarante.

Os solos descritos acima foram enquadrados em três classes principais, com base no coeficiente de escoamento superficial: i) arenosos (latossolos, neossolo quartzarênico); ii) argilosos (argissolo, gleissolo, planossolo); e iii) dunas e paleodunas.

Para cada uma dessas classes foi associado um coeficiente de escoamento superficial diferente, conforme proposto por Fenn *et al.* (1975), sendo maior para os solos argilosos, intermediário para os solos arenosos e nulo para as dunas e paleodunas, considerando que nestes últimos o escoamento superficial é mínimo (**Tabela 4.5**). Os coeficientes de escoamento superficial definidos foram aplicados na estimativa do balanço hídrico.

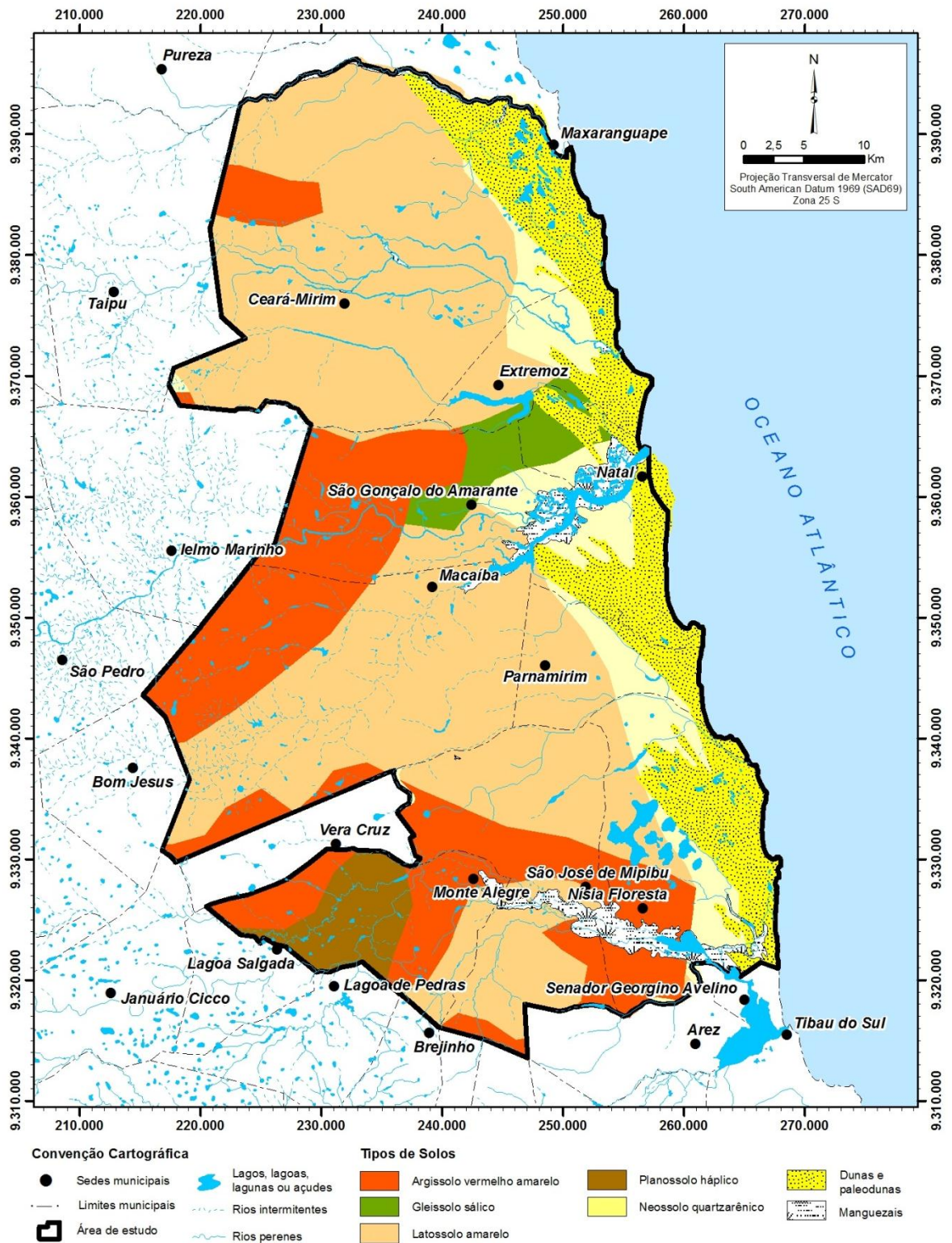


Figura 4.10. Tipos de solo na RMN (adaptado de CPRM, 2003)

Tabela 4.5. Coeficientes de escoamento superficial			
Tipo de solo	Declividade do terreno (%)	Coeficientes	
		Estação seca	Estação úmida
Arenoso	< 3	0,19	0,35
	3 - 7	0,37	0,53
	> 7	0,50	0,60
Argiloso	< 3	0,35	0,45
	3 - 7	0,47	0,58
	> 7	0,60	0,65

Fonte: Fenn *et al.* 1975

O mapa de declividade (**Figura 4.11**) foi gerado a partir do modelo digital de terreno da área de estudo, obtido em Embrapa (2005). Foram definidos três intervalos de declividades (< 3%, 3% a 7% e > 7%), os quais foram associados a diferentes coeficientes de escoamento superficial (**Tabela 4.5**). O relevo em forma de tabuleiro resulta no predomínio de baixas declividades, com exceção de trechos restritos nas encostas dos principais vales e no domínio das dunas, onde a declividade ultrapassa 3% (**Figura 4.11**).

Do cruzamento dos mapas de tipos de solos e de declividade do terreno foi gerado um novo produto onde foram identificadas 7 classes de áreas com diferentes potenciais de escoamento superficial que podem sugerir diferentes áreas com potenciais de recarga (**Figura 4.12** e **Tabela 4.6**). Nas ocorrências de dunas e paleodunas foi admitido que não há escoamento superficial significativo, considerando-se uma taxa de infiltração de 100% do excedente hídrico.

Tabela 4.6. Classificação do potencial de escoamento superficial		
Classificação	Tipo de Solo	Declividade (%)
Classe 1	Arenoso	< 3
Classe 2		3 a 7
Classe 3		> 7
Classe 4	Argiloso	< 3
Classe 5		3 a 7
Classe 6		> 7
Classe 7	Dunas ou paleodunas	-

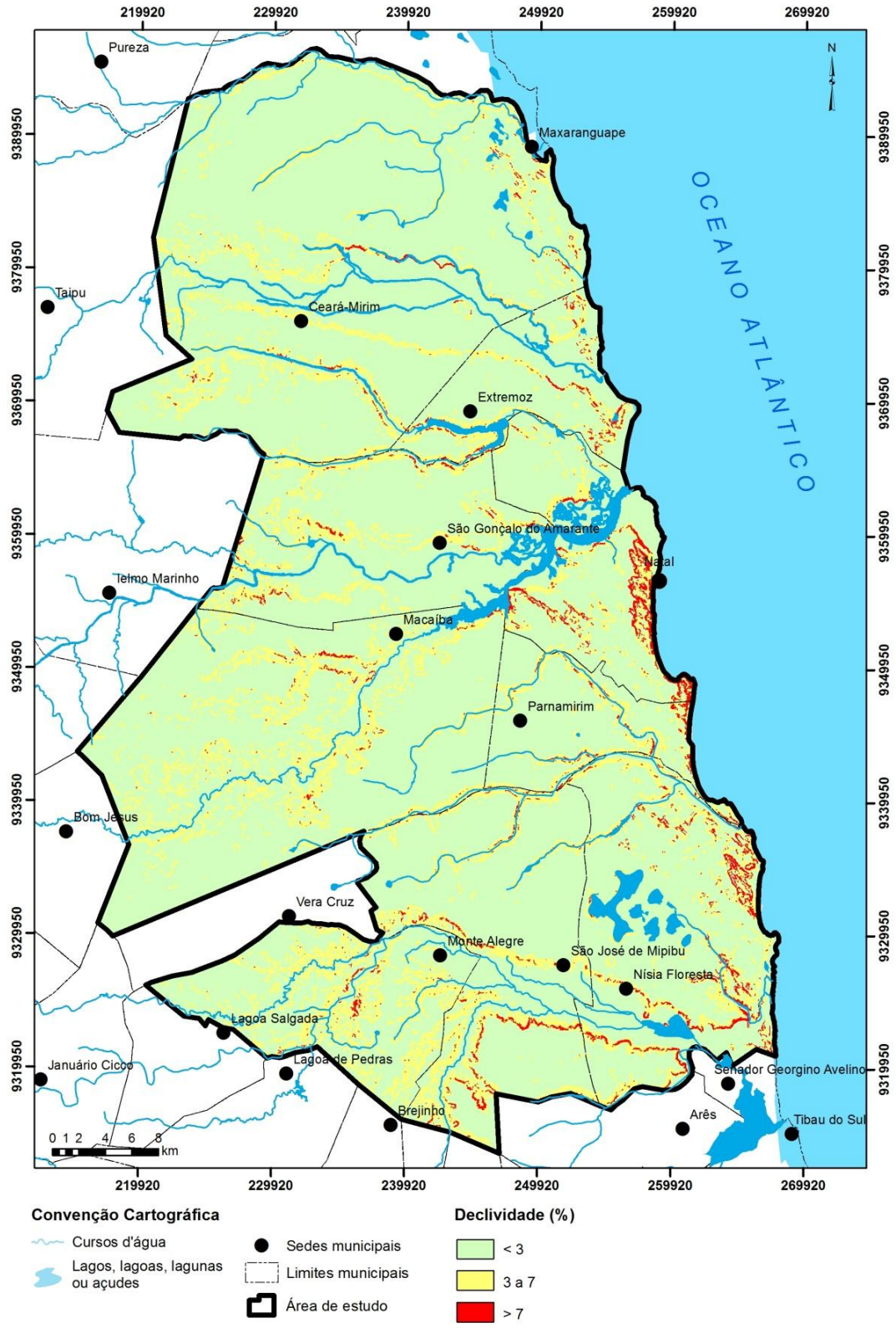


Figura 4.11. Declividade do terreno na RMN

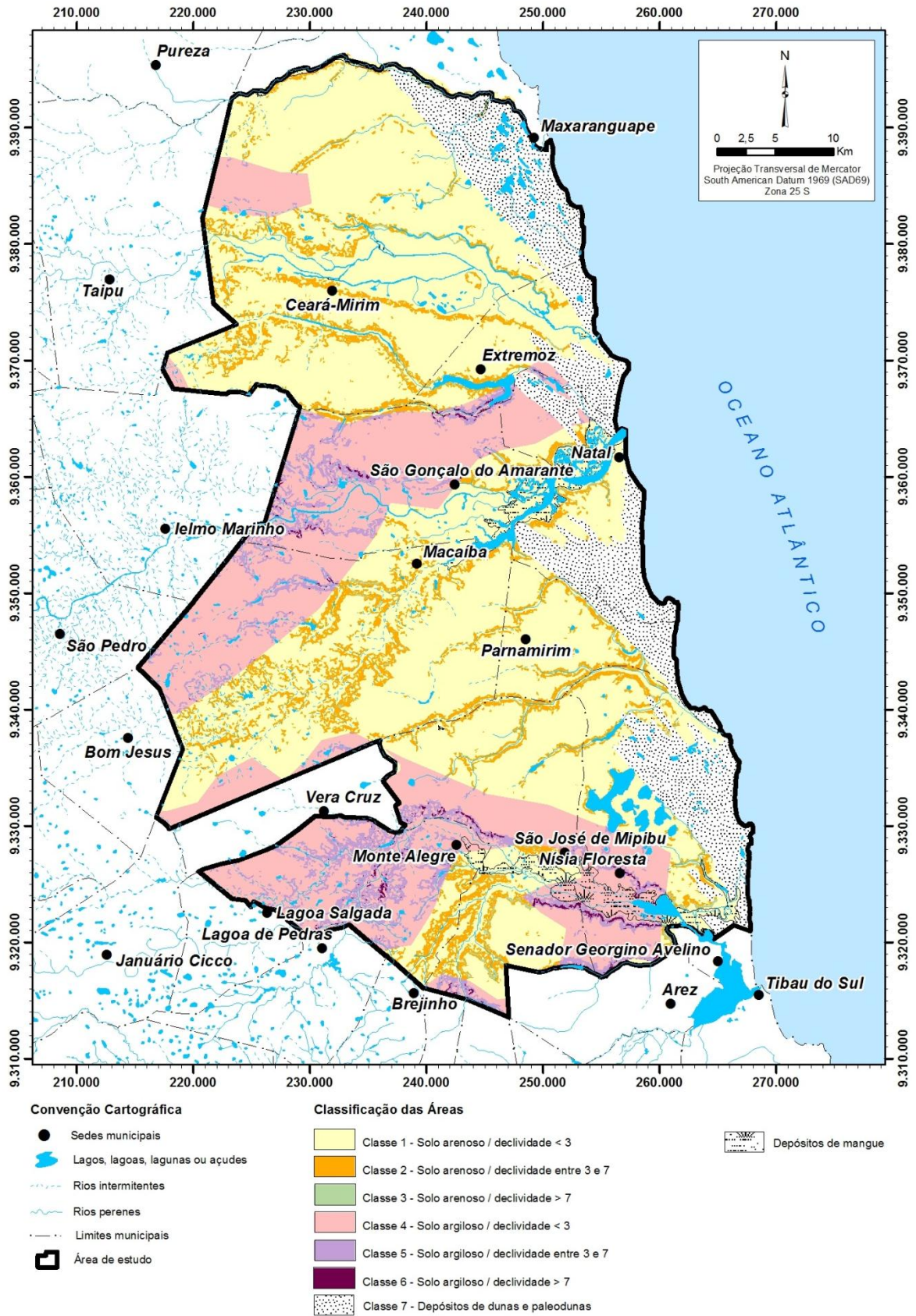


Figura 4.12. Classificação do potencial de escoamento superficial

Após a classificação do potencial de escoamento superficial, com base na declividade e tipo de solos, foram obtidos os dados de precipitação e temperatura para o cálculo do balanço hídrico do solo. Os dados médios mensais de temperatura e precipitação das séries históricas das estações climatológicas e postos pluviométricos localizados na área de estudo foram complementados com dados do entorno e interpolados, através do método de *krigagem*, obtendo-se as isotermas e isoietas mensais e anuais (**Apêndice A**).

A área apresenta alta temperatura média anual e baixa amplitude térmica, com mínima de 24,1°C em julho e máxima de 26,7°C em janeiro. As chuvas diminuem em volume de leste para oeste (litoral para o interior) e variam desde 10 mm (outubro e novembro) até 370 mm em junho.

Devido à extensão da área de estudo e à variação do volume de precipitação, optou-se por dividi-la em duas zonas (**Figura 4.13**), onde foram calculados separadamente os balanços hídricos individualmente. A Zona 1 compreende a região situada entre o limite oeste da área e a isoietas de 1.200 mm e a Zona 2 foi delimitada pela isoietas de 1.200 até a linha de costa.

A partir dos dados das isoietas e isotermas mensais, foram extraídos os valores médios de chuva e temperatura para cada zona da área, que serviram de entrada para a equação do balanço hídrico (**Tabela 4.7**).

Tabela 4.7. Dados climáticos utilizados no balanço hídrico				
Mês	Precipitação média (mm)		Temperatura média (°C)	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
Jan	55	80	26,7	26,7
Fev	75	85	26,5	27,0
Mar	140	180	26,6	26,8
Abr	160	220	26,1	26,5
Mai	155	210	25,5	25,9
Jun	160	255	24,9	24,9
Jul	120	180	24,1	24,2
Ago	60	100	25,0	25,1
Set	25	35	24,2	24,5
Out	10	10	25,4	25,6
Nov	10	10	25,9	26,3
Dez	20	20	26,4	26,8
Anual	990	1.385	25,6	25,9

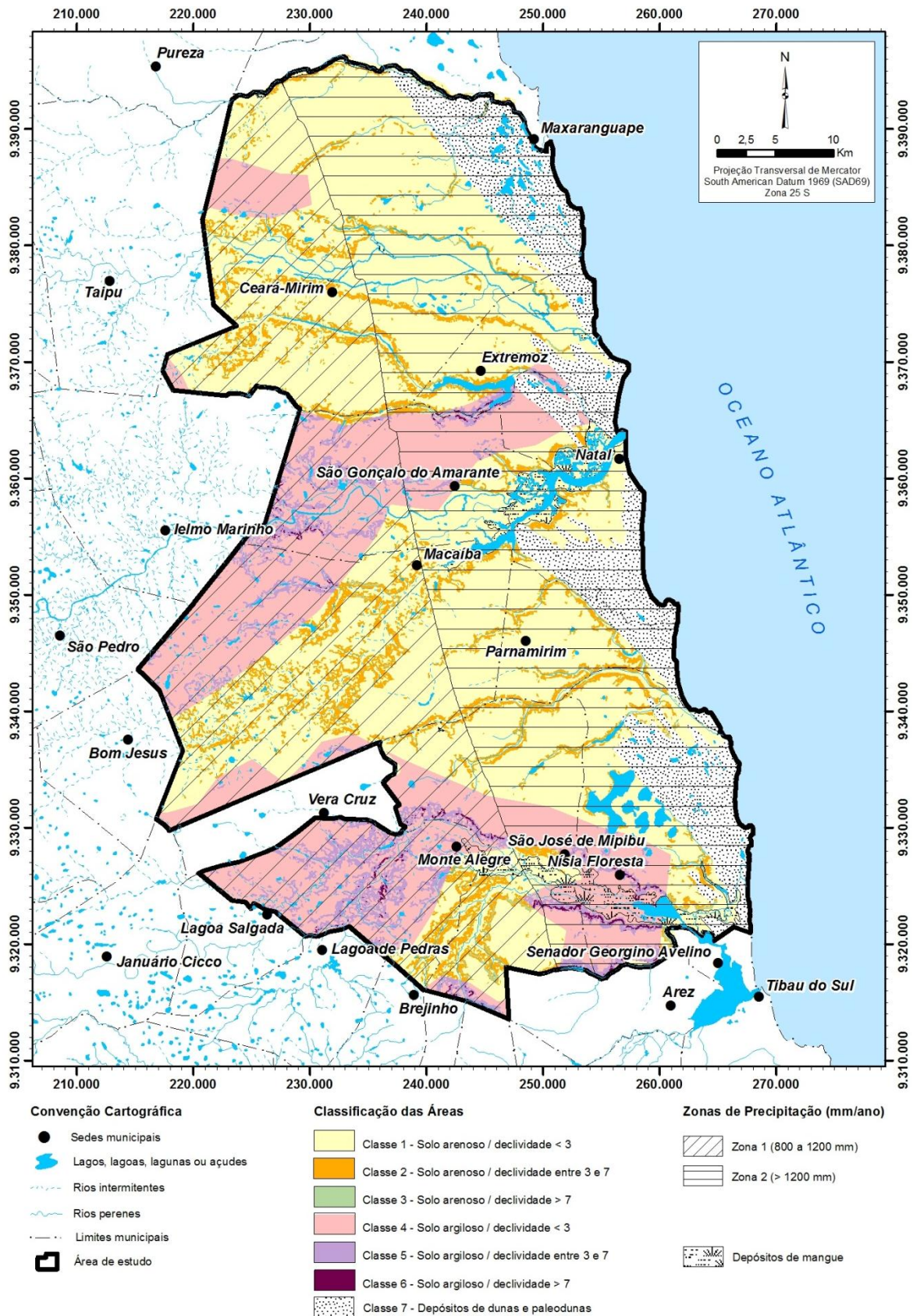


Figura 4.13. Zoneamento para o cálculo do balanço hídrico climatológico

O armazenamento (*ARM*) foi calculado com base nas simplificações propostas por Pereira (2005), segundo a equação:

$$ARM_{\eta} = ARM_{n-1} \exp \left[\frac{(P - ETP)_{\eta}}{CAD} \right] \quad (2)$$

onde *ETP* é a evapotranspiração potencial (mm) e *CAD* é a capacidade de água disponível no solo, em milímetros, adotado como 150 mm para a RMN, devido as características do solo e do predomínio de uma vegetação com raízes pouco profundas. O armazenamento é calculado para um período determinado, sendo que neste estudo foram adotados cálculos mensais e, assim, *n* representa o mês de interesse do cálculo e, *n-1*, o mês anterior.

A metodologia prevê que, enquanto o valor da *CAD* não seja alcançado, o potencial de excedentes hídricos alcançar a saturação da *CAD* é total e, desse modo, para os meses onde $P - ETP > 0$, mas com valores insuficientes para que o *ARM* atinja o valor da *CAD*, aplica-se a equação 3, a seguir:

$$ARM_{\eta} = ARM_{n-1} \exp(P - ETP)_{\eta} \quad (3)$$

A evapotranspiração potencial (*ETP*) foi calculada através do método proposto por Thornthwaite (1948). A equação empírica é dada por:

$$ETP = 16b \left(10 \frac{T}{I} \right)^a, 0^{\circ}C \leq T \leq 26^{\circ}C \quad (4)$$

onde *T* é a temperatura média mensal ($^{\circ}C$), *I* é o índice de calor disponível para a região, o expoente *a* é a função cúbica de *I* calculado a partir da soma dos índices de calor dos 12 meses e *b* é um fator de correção referente ao período de insolação durante o dia que varia em função da latitude do local de estudo. O cálculo de *I*, *a* e *b* é realizado a partir das seguintes equações:

$$I = \sum_{\eta=1}^{12} (0,2T_{\eta})^{1,514}, T_x > 0^{\circ}C \quad (5)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239 \quad (6)$$

$$b = \left(\frac{ND}{30} \right) \times \left(\frac{N}{12} \right) \quad (7)$$

onde *ND* é o número de dias no mês e *N* é o fotoperíodo em horas.

Caso a temperatura média mensal seja acima de 26°C a *ETP* deve ser calculada pela equação apresentada por Willmott *et al.* (1985), baseada nas tabelas de Thornthwaite (1948):

$$ETP = -415,85 + 32,24T - 0,43T^2, T > 26^\circ C \quad (8)$$

A evapotranspiração real (*ETR*) foi obtida através das seguintes equações:

$$ETR = ETP \text{ (se } P - ESC - ETP > 0) \quad (9)$$

ou

$$ETR = P - ESC - \Delta ARM \text{ (se } P - ESC - ETP < 0) \quad (10)$$

Por fim, a recarga foi obtida aplicando-se as equações abaixo:

$$R = P - ESC - ETR - \Delta ARM \text{ (se } \Delta ARM \geq 0) \quad (11)$$

ou

$$R = 0 \text{ (se } \Delta ARM < 0) \quad (12)$$

Através das equações anteriormente descritas foram obtidos os resultados dos parâmetros *ETP* (equação 8), *ETR* (equações 9 e 10) e deficiência hídrica para as duas zonas. Na Zona 1, a *ETP* estimada foi de 1.478 mm/ano e a *ETR* média foi de 797 mm/ano. A evapotranspiração real é menor que a potencial durante todo o período analisado (**Figura 4.14**). A deficiência hídrica para a Zona 1 foi de 457 mm/ano, distribuída entre os meses de setembro e fevereiro (**Figura 4.15**).

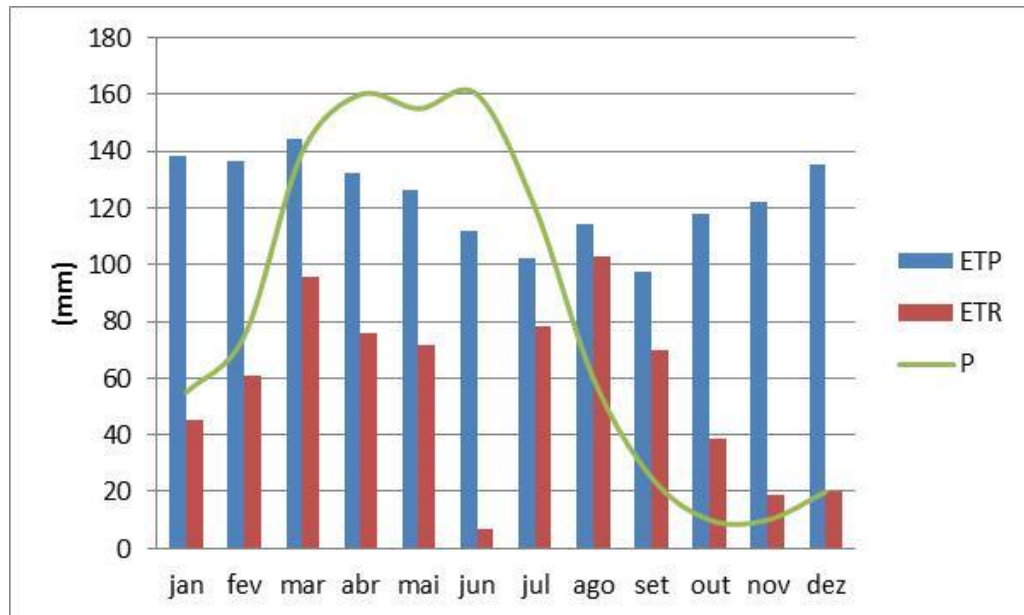


Figura 4.14. Evapotranspiração potencial e real da Zona 1 – Classe 1

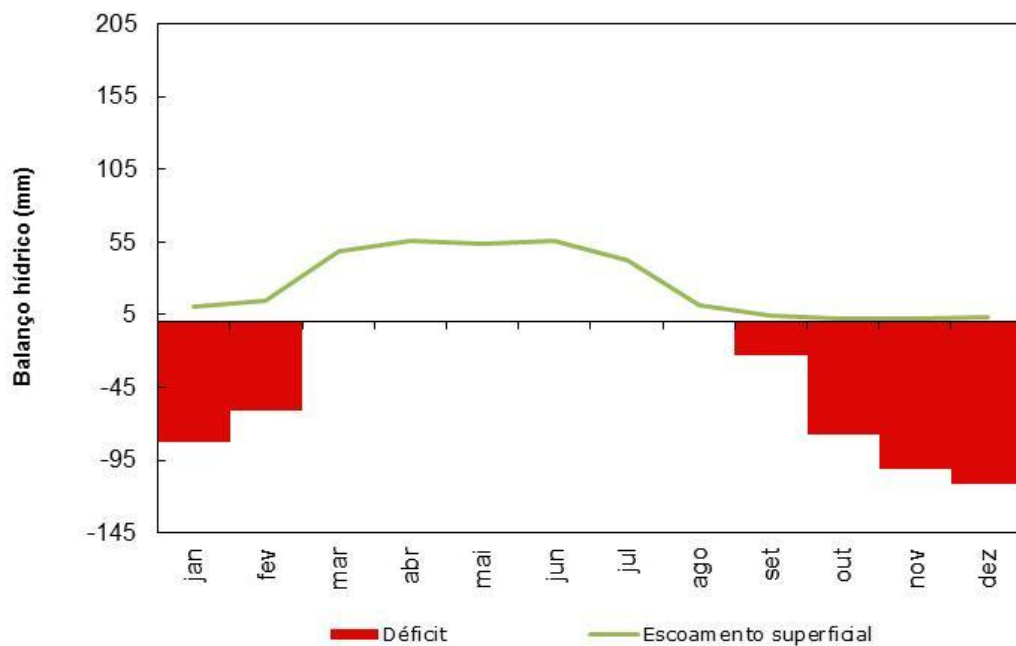


Figura 4.15. Balanço hídrico da Zona 1 – Classe 1

Na Zona 2, a ETP foi estimada em 1.519 mm/ano e a ETR média foi 800 mm/ano. A evapotranspiração real é igual a potencial no período de chuvas, enquanto que na estiagem, o menor volume de chuvas resulta em uma evapotranspiração real menor que a potencial (**Figura 4.16**). A deficiência hídrica para a Zona 2 foi de 397 mm/ano, distribuída entre os meses de setembro e fevereiro (**Figura 4.17**).

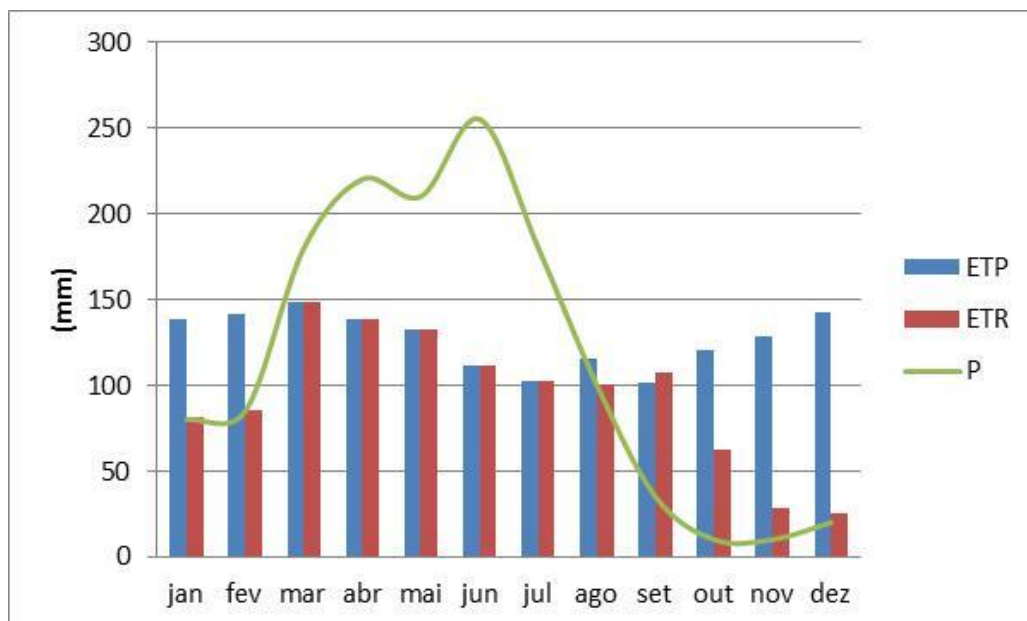


Figura 4.16. Evapotranspiração potencial e real da Zona 2 – Classe 1

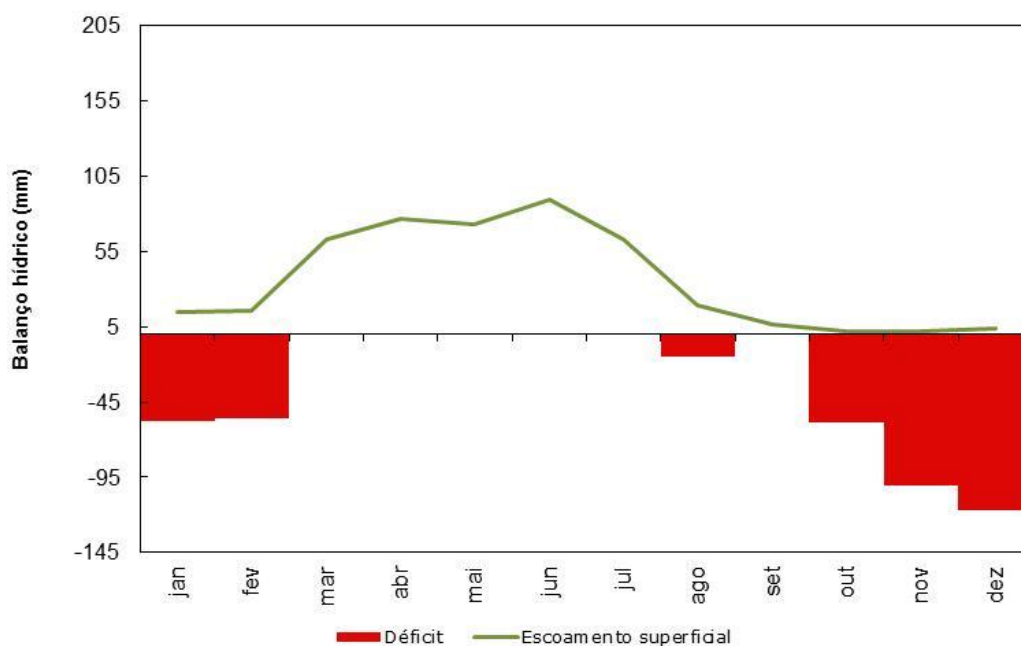


Figura 4.17. Balanço hídrico da Zona 2 – Classe 1

Após a obtenção dos parâmetros e aplicada a equação do balanço hídrico, obteve-se os valores preliminares de escoamento e recarga natural para toda a RMN (Tabela 4.8 e Figura 4.18).

Tabela 4.8. Estimativa de recarga pelo método climatológico para as zonas climáticas 1 e 2 da RMN

	Zona Climática	Área (km ²)	P (mm)	ETP	ETR	Escoamento ¹	Recarga	
				(mm/ano)	(mm/ano)	(mm/ano)	(mm/ano)	(m ³ /ano)
Classe 1	Z.C. 1	548	990	1.478	845	97	48	26.304.000
	Z.C. 2	779	1.385	1.519	956	281	148	115.292.000
Classe 2	Z.C. 1	111	990	1.478	828	125	37	4.107.000
	Z.C. 2	99	1.385	1.519	834	419	132	13.068.000
Classe 3	Z.C. 1	6	990	1.478	760	215	15	90.000
	Z.C. 2	16	1.385	1.519	668	669	48	768.000
Classe 4	Z.C. 1	399	990	1.478	824	120	46	18.354.000
	Z.C. 2	153	1.385	1.519	876	368	141	21.573.000
Classe 5	Z.C. 1	86	990	1.478	801	160	29	2.494.000
	Z.C. 2	22	1.385	1.519	708	569	108	2.376.000
Classe 6	Z.C. 1	5	990	1.478	725	250	15	75.000
	Z.C. 2	5	1.385	1.519	542	797	46	230.000
Classe 7	Z.C. 2	495	1.385	1.519	1.015		370	183.150.000
Total		2.724	-	-	-	174	142	387.881.000

P: precipitação média anual; ETP: evapotranspiração potencial estimada; ETR: evapotranspiração real estimada; 1: escoamento superficial calculado com base nos coeficientes apresentados na **Tabela 4.5**.

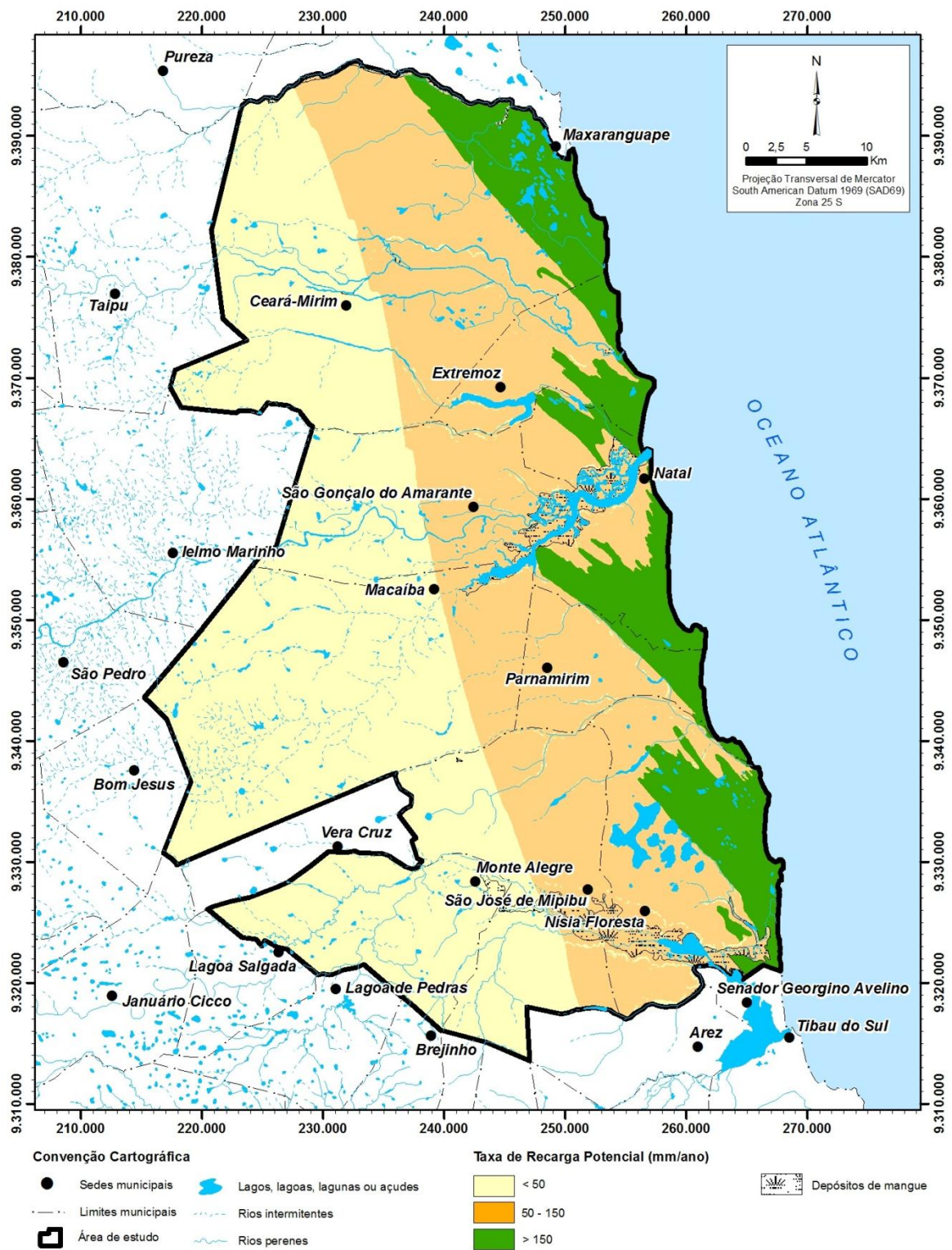


Figura 4.18. Recarga potencial na Região Metropolitana de Natal

Nas áreas com declividade abaixo de 3%, a taxa de infiltração média em solos arenosos foi de 11% e dos solos argilosos foi de 5% em relação a precipitação média anual. Nas áreas com declividades acima de 3%, a taxa de infiltração média ficou em torno de 1% da precipitação média anual, tanto para os solos arenosos como argilosos. No domínio das dunas, a recarga corresponde a 27%

da precipitação média anual. A taxa de infiltração média para toda a RMN é de 14%. Esse valor é 13% inferior ao valor obtido na bacia do Maxaranguape (SEMARH, 2010) onde a taxa de infiltração obtida foi de 16%.

As estimativas obtidas pelo balanço hídrico indicam maiores taxas de escoamento superficial no setor ocidental, enquanto as maiores taxas de recarga ocorrem nos setores ao longo da linha de costa da RMN que estão associados ao domínio de ocorrência das dunas e paleodunas (Classe 7).

As recargas ocorrem essencialmente nos meses de maio, junho e julho (**Figura 4.19**), que correspondem ao período chuvoso. Nos meses de março e abril há contribuição do excedente hídrico para o armazenamento de água no solo. Nos demais meses (agosto a fevereiro) ocorre uma deficiência hídrica.

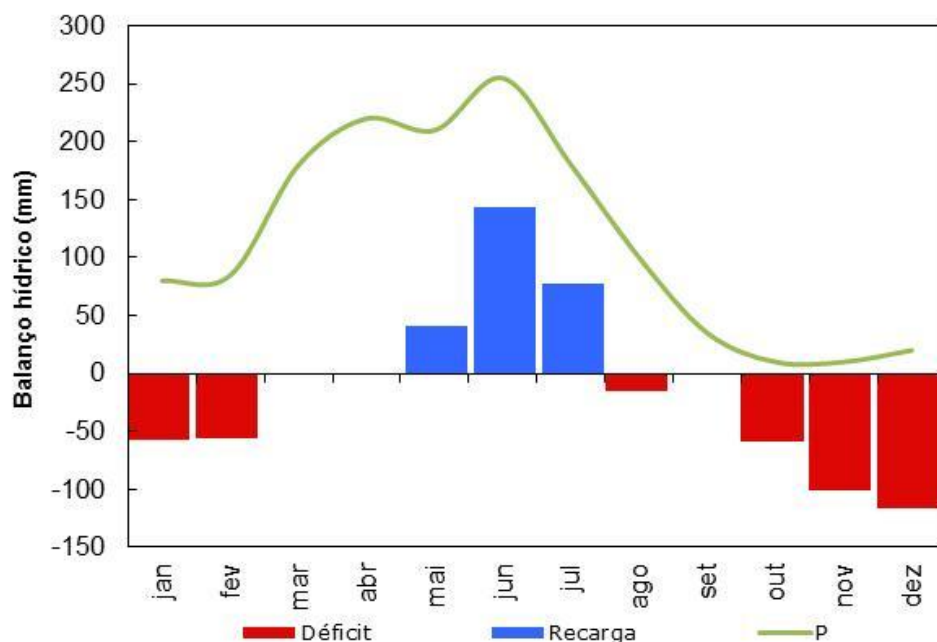


Figura 4.19. Balanço hídrico para a Classe 7 (Zona 2) na RMN

Na porção ocidental da RMN predominam áreas com recarga potencial inferior a 50 mm/ano no trecho estudado. As taxas de recarga estimadas para as áreas mais orientais são superiores a 50 mm/ano alcançando valores superiores a 300 mm/ano, estas últimas ocorrendo principalmente nos domínios das dunas e paleodunas (**Figura 4.18**). Estudos realizados pelo IPT (1982), já demonstravam esse alto potencial de recarga no domínio das dunas na região metropolitana de Natal.

Os resultados obtidos pelo balanço hídrico apontam para uma recarga natural da ordem de 388×10^6 m³/ano na RMN, que corresponde a 142 mm/ano para uma área de 2.724 km². Considerando-se a área de ocorrência do Sistema Aquífero

Barreiras de 2.110 km², obtém-se uma recarga potencial de 367x10⁶ m³/ano ou (135 mm/ano), irregularmente distribuída, estando concentrada principalmente na sua porção oriental (**Figura 4.18**).

O cálculo da recarga pelo método climatológico, conforme realizado no presente estudo, permite regionalizar as recargas em função das características geológicas e geomorfológicas, refinando o modelo conceitual da recarga do aquífero e, desse modo, ampliando o conhecimento dos gestores para a implementação de medidas de gestão à proteção das áreas de interesse à recarga do aquífero.

Ressalva-se que, apesar de amplamente utilizada e consagrada, essa metodologia pode incorrer em imprecisões de até 30% e, por isso, as taxas de recarga na área de estudo, sobretudo no Sistema Aquífero Barreiras foram calculadas a partir de diferentes técnicas, permitindo uma comparação dos resultados obtidos entre essas técnicas, conforme discutido no Capítulo 12 deste relatório.

4.2 Avaliação Hidrológica

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (SERHID, 1998a), os recursos hídricos do Rio Grande do Norte estão irregularmente distribuídos ao longo de seu território em uma área de drenagem com mais de 53.000 km², mais de 4.000 açudes distribuídos em dezesseis bacias hidrográficas, divididas de acordo com a extensão, em bacias principais (Piranhas-Açu e Apodi-Mossoró) e bacias secundárias (rios Potengi, Ceará-Mirim, Trairi, Jacu, Curimataú-Cunhaú e Seridó, Maxaranguape, Doce, Pirangi, Catu e Guaju).

Existem ainda duas faixas litorâneas de escoamento difuso, que não possuem um rio principal específico, com seu baixo-curso no litoral leste do Estado, onde o clima favorece a perenidade dos rios, criando, assim, as condições adequadas ao surgimento de vales férteis, como ocorre no vale do rio Ceará-Mirim e em áreas tradicionalmente ocupadas pela produção de cana-de-açúcar.

Na Região Metropolitana de Natal existem sete bacias hidrográficas inseridas total ou parcialmente: bacia do rio Maxaranguape, bacia do rio Ceará-Mirim, bacia do rio Doce, bacia do rio Potengi, bacia do rio Pirangi, bacia do rio Trairi e Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso (**Figura 4.20**).

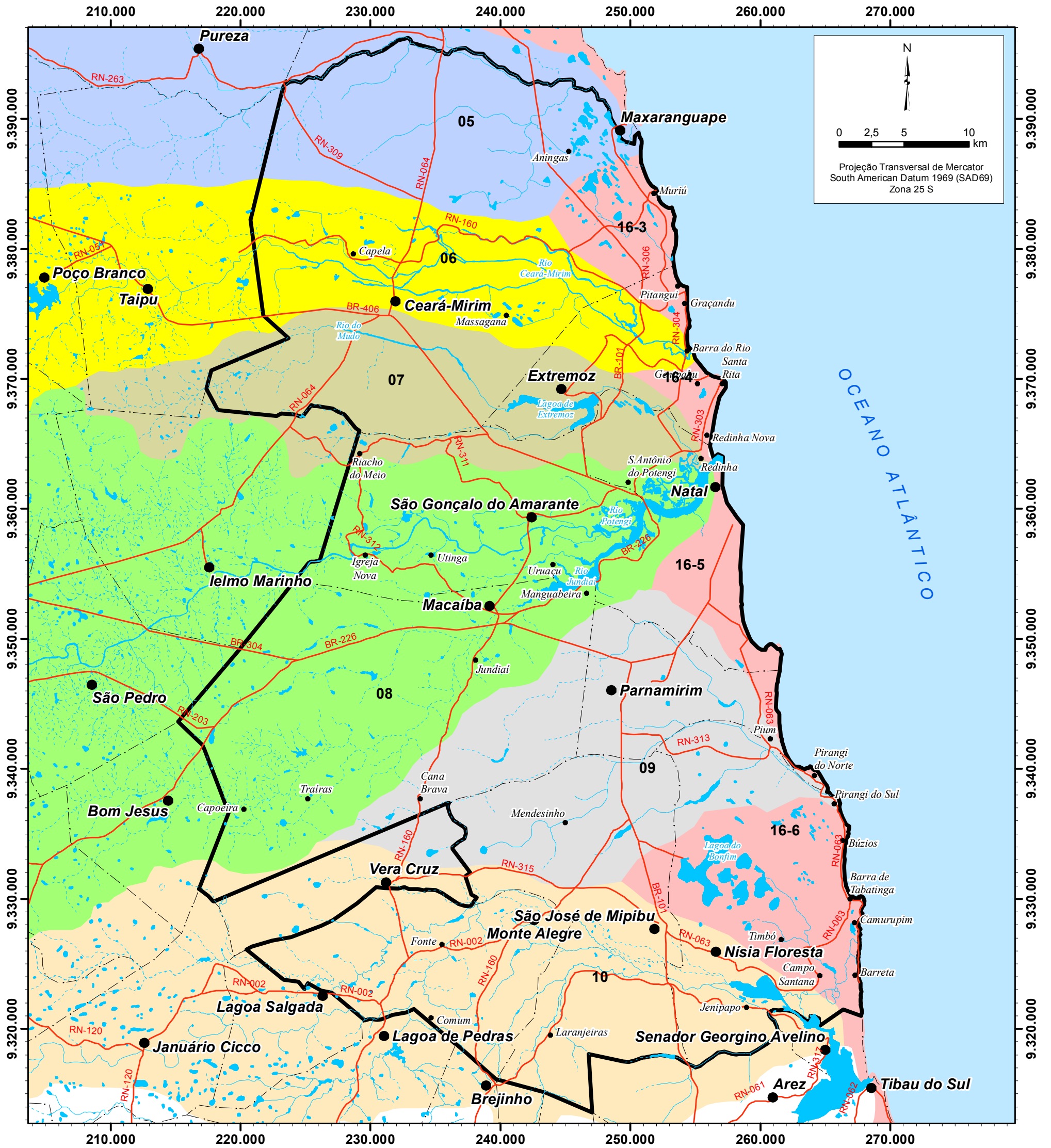
A origem dos principais rios da RMN é atribuída a falhamentos, formando *grabens* denominados de vales estruturais. Devido a esta origem, esses vales possuem peculiaridade bem definidas, mostrando-se abertos, com fundo chato e amplos talwegues. Em todos os seus cursos apresentam trechos retilíneos intercalados

com pequenos meandros, desde suas cabeceiras até suas desembocaduras (ALDAN, 2002).

Esses rios estão controlados por estruturas geológicas resultantes dos reflexos das estruturas do embasamento cristalino com posterior reativação no quaternário. Nos vales, são formadas extensas planícies fluviais, como é o caso dos rios Potengi, Jundiá e Ceará-Mirim. O rebaixamento da costa na foz desses rios permite a invasão do mar no continente, formando um amplo estuário, pelo qual há avanço das marés altas, com até 20 km de extensão. Ocorrem ainda algumas lagoas alinhadas dentro de vales, como a lagoa Gramoré, no vale do rio Doce, a lagoa do Pium, no vale do rio Pium, e a lagoa do Jiqui, no vale do rio Pitimbu (BEZERRA *et al.* 1993 *apud* NUNES, 1996).

Com exceção das bacias de escoamento difuso leste, no curso superior das demais bacias os rios apresentam caráter intermitente, condicionado principalmente pelo arcabouço geológico (na faixa de afloramento do embasamento cristalino) e às baixas precipitações (no geral, abaixo de 900 mm/ano). Esse cenário é alterado nos trechos médios e inferiores dessas bacias, essencialmente na faixa de afloramento das rochas sedimentares, sobretudo do Sistema Aquífero Barreiras, cujas contribuições através das descargas permitem a perenização dos rios nesses trechos.

A seguir serão caracterizadas e avaliadas as bacias hidrográficas existentes na Região Metropolitana de Natal, de acordo com o levantamento bibliográfico realizado no âmbito destes estudos hidrogeológicos.



Bacias Hidrográficas

- 05 - Bacia do Rio Maxaranguape
- 06 - Bacia do Rio Ceará-Mirim
- 07 - Bacia do Rio Doce
- 08 - Bacia do Rio Potengi
- 09 - Bacia do Rio Pirangi
- 10 - Bacia do Rio Trairi
- 11 - Bacia do Rio Jacu
- 16 - Bacias de escoamento difuso - Leste

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM
Localização da área de estudo



Figura 4.20. Bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



Bacia Hidrográfica do Rio Maxaranguape

A bacia do rio Maxaranguape situa-se entre a bacia do rio Ceará-Mirim, ao sul, e a bacia do rio Punaú, ao norte, apresenta forma alongada no sentido de oeste para leste até a linha de costa numa extensão da ordem de 78 km, com cabeceiras no município de João Câmara e foz no Oceano Atlântico na cidade de Maxaranguape. Nesta bacia não há açudes de maior importância e destaca-se a Fonte de Pureza, localizada junto à cidade de mesmo nome, que é um fenômeno de ressurgência e dá origem à principal fonte de água do Estado, em vazão, sendo ponto de captação da adutora de Pureza que abastece os municípios de Bento Fernandes, João Câmara, Poço Branco e Taipu (SERHID, 1998a). A configuração desta bacia mostra a rede de drenagem relativamente baixa e predominantemente paralela no seu curso inferior e na maior parte da faixa norte da bacia (vertente norte), o que sugere maiores taxas de infiltração e reduzido escoamento superficiais (SEMARH, 2010).

A bacia do rio Maxaranguape é uma das bacias mais importantes do estado por apresentar grande potencial hídrico e proximidade com a região metropolitana de Natal, sendo inclusive apontada como possível alternativa para abastecimento da cidade, uma vez que o potencial de disponibilidade é superior à demanda hídrica atual da bacia (SEMARH, 2010). No entanto, essa bacia também apresenta alta taxa de ocupação urbana, fato que pode comprometer a qualidade das suas águas superficiais e subterrâneas.

O rio Maxaranguape se desenvolve na porção média da bacia, a partir da confluência do Riacho Seco (ao norte) com o Riacho do Barro (ao sul), localizado a sul do município de Pureza, drenando a região por 35 km até desaguar no Oceano Atlântico, em geral, com extensas planícies aluviais, importantes no desenvolvimento da agricultura local (SERHID, 1998a).

Na faixa ao sul da bacia do Maxaranguape, no curso superior e médio, a rede de drenagem mostra-se densa e complexa, cuja configuração em parte é associada ao tipo dendrítica, característica de terrenos de baixa permeabilidade e em parte do tipo ortogonal, o que neste caso pode ser indicativo de fendas e falhamentos nas rochas carbonáticas da formação Jandaíra, que é predominante no referido setor (SEMARH, 2010).

Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim

A bacia do rio Ceará-Mirim, localizada no Litoral Oriental, ao norte da cidade de Natal, entre as bacias do rio Maxaranguape e do rio Doce, é a quinta maior do Rio Grande do Norte ocupando 4,9% da área do Estado (SERHID, 1998a). O rio homônimo nasce no município de Lajes, atravessa em direção ao mar os

municípios de João Câmara, Poço Branco, Pedra Preta, Baixa Verde, Taipu e Ceará-Mirim, deságuando na localidade de Barra do Rio (SERHID, 1998a). Assim como na maioria das bacias litorâneas, os recursos hídricos superficiais que caracterizam a bacia do Ceará-Mirim, com exceção de casos isolados, não são utilizados para o abastecimento humano, mas principalmente para irrigação, dessedentação animal e atividades de lazer.

No vale do rio Ceará-Mirim há várias lagoas pequenas e riachos, que se originam do afloramento dos aquíferos, cujo lençol freático se encontra a pouca profundidade como fonte supridora no período de estiagem (NUNES, 1996).

Bacia Hidrográfica do Rio Doce

A bacia do rio Doce limita-se ao norte e a noroeste com a bacia hidrográfica do rio Ceará-Mirim e ao sul e ao sudoeste com a bacia hidrográfica do rio Potengi. No sentido leste limita-se com o Oceano Atlântico.

A hidrografia dessa bacia é representada pelos rios do Mudo e Guagirú que drenam a área da bacia e deságuam na lagoa de Extremoz. Essa lagoa possui elevada importância por ser fonte de abastecimento da zona norte de Natal.

A lagoa de Extremoz é constituída por dois braços com formas alongadas: um no sentido leste-oeste, com 7 km de extensão e largura média inferior a 200 m, onde deságua o rio Mudo; e o outro no sentido nordeste-sudoeste, com extensão em torno de 3 km e largura inferior a 100 m, onde o rio Guajiru lança suas águas (SERHID, 1998a).

O rio Doce, que tem sua nascente na descarga da lagoa de Extremoz, corre na direção leste sobre os sedimentos quaternários de dunas e aluviões até desembocar no estuário, alimentado pelo fluxo superficial da lagoa de Extremoz e por ressurgência de águas subterrâneas da formação Barreiras (MEDEIROS, 2001). Este rio mostra uma declividade quase nula e é alimentado, em todo o seu percurso de 14 km, por fontes (olheiros), devido ao leito do seu canal se encontrar mais baixo que o nível estático das águas, principalmente durante a estação chuvosa. Apesar de seu caráter perene, apresenta uma pequena descarga durante a maior parte do ano em torno de 2 m³/s (CUNHA, 1982).

Os recursos hídricos superficiais desta bacia, em especial a lagoa de Extremoz, também são utilizados para o atendimento de parte do consumo de Ceará-Mirim. Assim, a CAERN tem uma estação de captação e tratamento d'água, localizada na margem direita do braço sul da lagoa. Para o abastecimento parcial da cidade de Ceará-Mirim, a prefeitura municipal dispõe de uma captação de cerca de 2,5

l/s. Estes recursos são utilizados, também, para irrigação, dessedentação animal e atividades de lazer (SERHID, 1998a).

Bacia Hidrográfica do Rio Potengi

A bacia do rio Potengi é a maior da Região Metropolitana de Natal, distribuída espacialmente por 25 municípios do Estado (SERHID, 1998a), localizada entre a bacia do rio Doce, a norte, e as bacias dos rios Pirangi e Trairi, a sul.

Segundo Medeiros (2001), o rio Potengi nasce em uma região de serras cristalinas do semiárido do Rio Grande do Norte, a serra de Santana, tendo como afluentes principais o rio Camaragibe, pela margem esquerda, e o Jundiaí pela margem direita. Toda a rede hidrográfica não é contínua, permanecendo os rios secos a maior parte do ano, a exceção da região do baixo curso, onde se tornam perenes, com influência das marés. Em seu trecho final sofre influência direta das marés, com variações de ordem de 2,7 m (CAERN, 1995). A coalescência das águas do rio Potengi com as do rio Jundiaí forma o estuário, denominado de “estuário Potengi/Jundiaí”, pelo qual ocorre o avanço das marés (MEDEIROS, 2001).

A bacia do rio Pirangi, localizada no litoral Oriental do Estado e formada pelos rios Pirangi e Pitimbu e riachos Mendes, Taborda, Água Vermelha e Pium, possui elevada importância, por ser responsável pelo abastecimento parcial de água de Parnamirim, São José de Mipibu, Nísia Floresta, Macaíba e da zona sul de Natal (SERHID, 1998a).

Nesta bacia hidrográfica, o rio Pitimbu se configura como o principal rio, tem sua nascente na localidade de Lagoa Seca (Macaíba) e desemboca, com uma extensão de 25 km, a jusante da lagoa do Jiqui, no riacho Taborda, que é afluente de primeira ordem do rio Pirangi, já próximo ao litoral, constituindo-se, portanto, em uma sub-bacia. Em grande parte do seu curso, o rio Pitimbu serve de limite entre os municípios de Natal e Parnamirim.

A sub-bacia do rio Pitimbu apresenta o formato de um polígono irregular, sendo que o rio principal possui 37 km de extensão, se desenvolvendo no sentido sudoeste-nordeste, formando uma acentuada curva de sudoeste para leste em direção ao ponto onde deságua. A rede hidrográfica se desenvolve integralmente sobre o embasamento sedimentar, com o rio Pitimbu apresentando caráter perene, sendo alimentado por ressurgências de águas subterrâneas do aquífero Barreiras (SERHID, 1998a).

Nos 13 km iniciais, o rio Pitimbu corta áreas rurais pertencentes principalmente ao Município de Macaíba. A partir daí, a proximidade com a periferia de Parnamirim e

Natal, condiciona uma maior ocupação da bacia, verificando-se um crescimento populacional e a presença de indústrias em direção às suas margens.

A lagoa do Jiqui, localizada em Parnamirim, próxima ao limite com a zona sul de Natal, tem grande importância, uma vez que desde 1960 é utilizada como manancial para abastecimento público. Essa lagoa também é explorada pela EMPARN para irrigação de culturas experimentais, dentro do projeto de produção de sementes e mudas de coqueiro anão, verde e híbrido, com vazão de 300.000 m³/ano (EMPARN, 1997 *apud* DUARTE, 1999).

Esta lagoa possui um comprimento de aproximadamente 1.210 m e uma largura máxima de 200 m na seção da captação da CAERN. Possui uma profundidade média de 1,0 m e um tempo de detenção hidráulica de 2,6 dias.

Sobre a disponibilidade hídrica da área da bacia, o coeficiente de escoamento do deflúvio médio anual é da ordem de 21,5%, com volume afluente médio anual estimado em 50 milhões de m³/ano, o que corresponde a uma vazão média de 3,20 m³/s, o valor da vazão afluente média à lagoa é da ordem de 3,10 m³/s (SERHID, 1998a).

Em Parnamirim, onde é preponderante a formação Dunas, que possui uma elevada capacidade de infiltração, não há condições para a formação de cursos de água expressivos. Contudo, a topografia da área aliado à vegetação, formou uma rede de drenagem com água que apresenta excelente qualidade para fins de consumo humano.

Bacia Hidrográfica do Rio Trairi

A bacia hidrográfica do rio Trairi localiza-se no limite sul da área estudada. O regime intermitente é característico em 70% da bacia, correspondendo ao alto e médio curso do rio Trairi e aproximadamente no contexto do embasamento cristalino Pré-Cambriano. Os 30% restantes, situada no âmbito da bacia sedimentar costeira, já apresenta seus principais tributários perenes. Este fato decorre dos 1.250 mm/ano de média pluviométrica, frente aos 500 mm/ano do Agreste, além da mesma contribuição subterrânea que contribui para a perenização da bacia do rio Pirangi (LUCENA, 1999).

O rio Trairi possui sua nascente formada por riachos oriundos das serras do Doutor e Cuité, nas proximidades de Jaçaná e Coronel Ezequiel, e desemboca na lagoa das Guaraíras no litoral leste, seguindo um curso geral de oeste para leste. Nesta bacia destacam-se os açudes Trairi, com capacidade de acumulação da ordem de 35.000.000 m³, e o Inharé, com volume máximo de 17.000.000 m³, responsáveis pelo abastecimento das cidades de Tangará e Santa Cruz,

respectivamente. Essas obras, além de se constituírem na principal forma de represamento e armazenamento da água superficial na região, são favorecidas na sua implantação pelo relevo ondulado da província cristalina (LUCENA, 1999).

Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso

A Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso, localizada na costa leste do estado, ocupa uma superfície de 649,4 km², o que representa 1,2% do território estadual, onde estão inseridos parte dos municípios de Ceará-Mirim, Extremoz, Natal, Nísia Floresta, Parnamirim e São José do Mipibu (SERHID, 1998a).

De acordo com Lucena (1999), o sistema lacustre do Bonfim está inserido entre as bacias hidrográficas dos rios Trairi, ao sul, e Pirangi, ao norte, e, face às proximidades com estas duas drenagens, possui uma área de contribuição superficial bastante reduzida.

O Sistema Lacustre do Bonfim constitui-se numa pequena bacia, com aproximadamente 60 km² de área, sendo enquadrada como uma das unidades de escoamento difuso da faixa litorânea leste. Seus limites hidrográficos são as bacias dos rios Trairi e Pirangi, que a cercam quase inteiramente, contribuindo para que sua área de drenagem superficial seja bastante reduzida (LUCENA, 1999).

Algumas das características desses espelhos d'água são apresentadas na **Tabela 4.9**, com base no levantamento realizado por SERHID (1997).

Tabela 4.9. Características das lagoas do sistema lacustre do Bonfim			
Lagoa	Área Superf. (m²)	Volume (m³)	Prof. máxima (m)
Bonfim	8.899.936	84.268.211	31,0
Ferreira Grande	1.064.065	2.812.724	8,0
Redonda	993.211	3.720.090	8,0
Urubu	899.870	2.736.115	9,0
Boa Água	686.286	1.469.132	4,0
Carcará	665.125	1.570.979	4,0

Fonte: SERHID, 1997

O sistema compreende seis lagoas principais (Bonfim, Boa Água, Redonda, Urubu, Ferreira Grande e Carcará), além de um único dreno que sai das lagoas do Urubu e Ferreira Grande, o Riacho Boa Cica, afluente pela margem esquerda do rio Trairi.

A **Tabela 4.10** apresenta um resumo das principais características de cada bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Natal, com a indicação dos respectivos deflúvios médios apontados no Plano Estadual de Recursos Hídricos (SERHID, 1998a).

Conforme verifica-se na **Tabela 4.10**, os deflúvios indicados no Plano Estadual de Recursos Hídricos (SERHID, 1998a) para as bacias inseridas na RMN apresentam uma somatória de 24,6 m³/s, o que representa um volume de aproximadamente 776 milhões de m³/ano. Esse volume corresponde ao escoamento anual médio dos principais rios das bacias hidrográficas, incluindo as contribuições das águas subterrâneas, que constitui o fluxo de base desses rios.

Como na RMN a contribuição das águas subterrâneas corresponde quase que exclusivamente as descargas do aquífero Barreiras, o fluxo de base representa, aproximadamente a recarga natural desse aquífero. Entretanto, devido à escassez de dados de deflúvios, principalmente de séries históricas consistentes para todas as bacias hidrográficas inseridas na área de estudo, não é possível determinar a vazão do fluxo de base dos rios e, conseqüentemente, estimar a recarga do aquífero Barreiras por essa técnica. Sendo assim, o deflúvio calculado serviu de apoio para os cálculos de recargas e potencialidades do aquífero Barreiras, apresentado no capítulo 12 deste relatório.

Portanto, o conhecimento alcançado com a avaliação hidrológica somado a interpretação do mapa potenciométrico (Capítulo 11) permitiu a compreensão do modelo de interação entre as águas superficiais e subterrâneas no âmbito desse estudo (discutido detalhadamente nos capítulos 11 e 13), assim como serviu de apoio para os cálculos das reservas, recargas e potencialidades dos aquíferos da RMN (Capítulo 12).

Recomenda-se ainda, a ampliação do monitoramento hidrológico, através da instalação de postos fluviométricos em todas as bacias e em diversos trechos de uma mesma bacia seria desejável para a obtenção de curvas de recessão, bem como para o refinamento dos dados de vazão das bacias, permitindo, desse modo, o aprimoramento dos cálculos das contribuições das águas subterrâneas nos sistemas hídricos superficiais e conseqüentemente das taxas de recarga dos aquíferos.

Tabela 4.10. Bacias hidrográficas inseridas na área de estudo

Bacias do PERH	Municípios inseridos	Superfície total da bacia (km²)	Precipitação média (mm)	Posto Fluviométrico	Vazão¹ (m³/s)
05 - Maxaranguape	Ceará-Mirim	1.010,2	550 a 1.400	Foz	5,89
06 - Ceará-Mirim	Ceará-Mirim e Extremoz	2.635,7	400 a 1.400	Ceará-Mirim	2,73
07 - Doce	Ceará-Mirim, Extremoz e São Gonçalo do Amarante	387,8	700 a 1.400	Foz	4,70
08 - Potengi	Macaíba, Natal e São Gonçalo do Amarante	4.093,0	500 a 1.300	Trairi	2,61
09 - Pirangi	Macaíba, Natal, Nísia Floresta, Parnamirim e S. J. de Mipibu	458,9	900 a 1.300	Foz	6,00
10 - Trairi	Macaíba, Nísia Floresta e São José de Mipibu	2.867,4	500 a 1.300	Monte Alegre	2,67
16 - Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso	Tibau do Sul e Baía Formosa	649,4	1100 a 1.300	NI	NI

Fonte: SERHID, 1998a

NI – Dado não informado

1 - Vazão média medida nos postos fluviométricos

5 CADASTRO DE POÇOS

O cadastro de poços corresponde, neste projeto, ao principal elemento de infraestrutura hídrica, haja vista o significativo papel que as águas subterrâneas representam no abastecimento das demandas hídricas locais.

O objetivo principal do cadastro é consistir um arquivo eletrônico unificado de fontes de captação de água subterrânea, visando o conhecimento parcial da infraestrutura hídrica, bem como à obtenção de dados hidrogeológicos e de consumo, indispensáveis no balanço hidrogeológico, identificação de potencialidades e demandas.

5.1 Levantamento de dados e desenvolvimento do cadastro

O desenvolvimento do cadastro de poços foi iniciado com o levantamento de informações existentes em diversas instituições públicas, estudos técnicos, trabalhos acadêmicos e empresas privadas de perfuração de poços. Os dados originais encontravam-se dispersos, em geral, pouco organizados e em bases físicas. Os passos iniciais do desenvolvimento do cadastro incluíram: cópias aos documentos e arquivos físicos, digitalização, triagem e consistência do conteúdo do cadastro.

Os principais estudos técnicos e acadêmicos com destaque na constituição do banco de dados de poços foram CAERN (1977, 1978, 1979, 1982a, 1982b, 1982c, 1983a, 1983b, 1983c, 1983d, 1986a, 1986b, 1986c); CPRM (2005); CASTRO (2000); SERHID (1998b, 2002, 2005).

Os elementos de infraestrutura de captação das águas subterrâneas são, em grande maioria, os poços tubulares, porém o desenvolvimento do cadastro identificou a existência de captação das águas a partir de nascentes ou surgências e por poços escavados (cacimbas). Por essa razão, para efeito de denominação, os registros no banco de dados são designados como “fontes” para caracterizar indistintamente qualquer equipamento ou local, com potencial à exploração de água subterrânea, podendo ser poços (tubulares ou escavados) ou nascentes ou mesmo poços com a finalidade de monitoramento das águas subterrâneas (piezômetros).

No sentido de nivelar o entendimento sobre os elementos de infraestrutura hídrica que compõem o cadastro de poços, seguem algumas definições:

- Poço tubular – obra de hidrogeologia para acessar um ou mais aquíferos para captação de água subterrânea, executada com sonda perfuratriz

mediante perfuração com diâmetro nominal de revestimento mínimo de 101,6 mm (4”), podendo ser parcial ou totalmente revestido em função da geologia local (NBR, 12.212). Os poços tubulares também podem ser popularmente chamados de poços profundos e comercialmente denominados, de maneira inadequada, de poços artesianos.

- Poço escavado – obra de captação de água subterrânea construída manualmente através da escavação, em geral, de grande diâmetro (entre 1 e 1,5 m), utilizado para extrair água de aquíferos livres e rasos, com profundidades normalmente inferiores a 30 m (IRITANI; EZAKI, 2009). Os poços escavados são também denominados de cacimba e popularmente chamados de amazonas em algumas localidades.
- Surgência ou nascente – local de descarga do aquífero em superfície, a partir do qual se forma uma drenagem efluente.

O cadastro de fontes de captação de água subterrânea é constituído de dados provenientes de levantamento de dados pré-existentes, bem como do cadastramento de poços em campo pela empresa Servmar, conforme previstos nos Termos de Referência.

Este trabalho consistiu um cadastro contendo 4.574 fontes de captação de água subterrânea, representando o maior arquivo eletrônico de fontes de captação de água subterrânea do Estado do Rio Grande do Norte. Os registros correspondem a 408 poços cadastrados em campo pela empresa Servmar e 4.166 fontes de captação de água subterrânea consistidas de dados coletados em documentos, relatórios técnicos, trabalhos acadêmicos, banco de dados de órgão gestores e empresas.

O cadastramento de poços em campo priorizou áreas onde existiam poucos poços provenientes do levantamento de dados, representando um universo de registros que eram desconhecidos dos órgãos de controle e gestão das águas.

Os levantamentos de registros de poços pré-existentes foram efetuados, sobretudo, na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH que, além de disponibilizar seu vasto cadastro de arquivos e fichas de poços, também forneceu o estudo realizado pela Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico do Rio Grande do Norte – FUNCERN.

Os dados obtidos na SEMARH e no estudo da FUNCERN representam cerca de 60% dos dados obtidos sobre a infraestrutura hídrica para a captação de água subterrânea, porém diversas outras instituições e fontes de dados foram consultadas, destacando-se a Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do

Norte – CAERN e a Fundação Nacional da Saúde – FUNASA. O cadastro de poços ainda foi complementado com informações advindas de empresas perfuradoras de poços, de estudos técnicos e trabalhos acadêmicos.

A **Figura 5.1** demonstra a distribuição das 4.574 fontes de captação presentes no cadastro, de acordo com a origem dos dados.

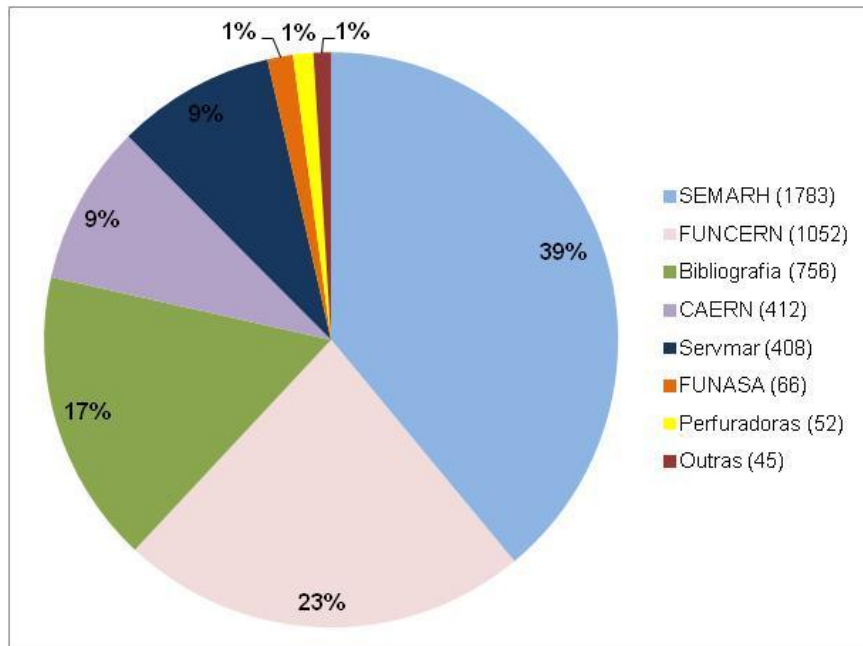
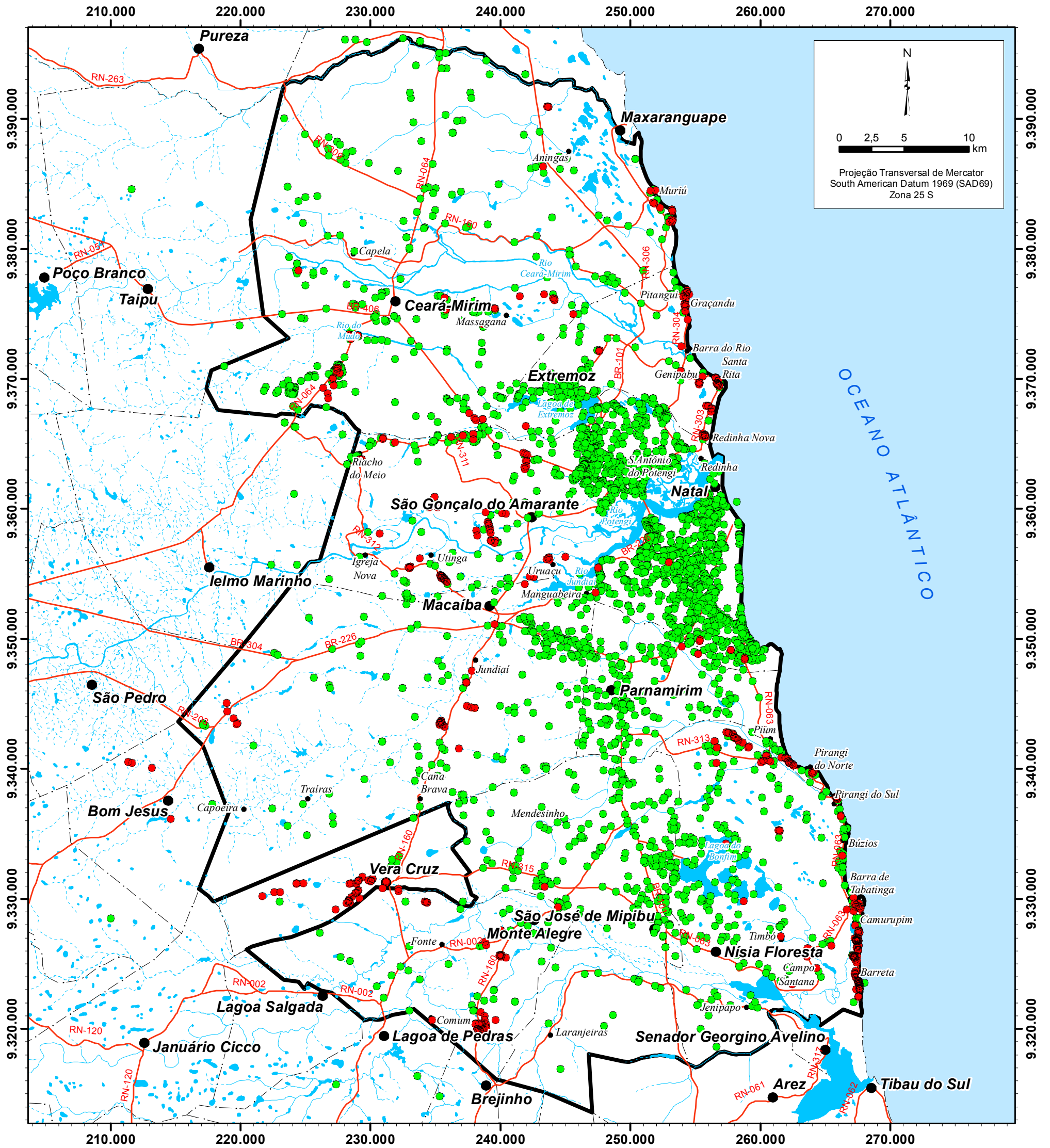


Figura 5.1. Distribuição da origem dos dados do cadastro

A **Figura 5.2** apresenta a localização das fontes de captação georreferenciadas, que representam 78% dos registros consistidos no cadastro. Nesse mapa estão situados todos os 408 poços cadastrados pela Servmar e 3.182 fontes de captação dos dados pré-existentes georreferenciados.

Todos os dados estão sistematizados e organizados de acordo com as informações que foram disponibilizadas nos documentos originais dos registros ou pelas informações coletadas nas entrevistas com os proprietários de poços durante o cadastramento em campo. Os trabalhos de análise e consistência dos dados do cadastro objetivaram eliminar eventuais duplicidades de informações, bem como suprir eventuais lacunas de dados existentes nos registros.

O procedimento adotado pela Servmar para a organização do banco de dados dos poços (cadastro) considerou a identificação dos poços por meio de uma codificação alfanumérica, sendo 3 letras que refletem o nome do município do poço e 4 algarismos sequencialmente numerados. Essa codificação foi implantada visando homogeneizar a identificação dos poços, bem como para facilitar a organização e triagem dos registros.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM
Localização da área de estudo



Poços Cadastrados

- Poços cadastrados em campo (408)
- Poços cadastrados (3182)

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Figura 5.2. Cadastro de poços da Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



Ressalta-se que foram realizadas diversas visitas de campo visando à confirmação de dados do cadastro, bem como para a atualização e o cadastramento de novos registros. Essa tarefa foi realizada durante diversos meses que antecederam a definição das redes de monitoramento de nível de água e da qualidade das águas.

5.2 Metodologia de desenvolvimento do banco de dados

O cadastro de poços foi desenvolvido em ambiente Access que facilita a operação e a organização das informações, bem como a busca e a elaboração de alguns relatórios. O banco de dados também permite a interface com outros aplicativos, tais como a exportação para Excel, operações com a interpolação de dados e análises em aplicativos de sistemas de informações georreferenciadas.

A **Figura 5.3** ilustra a página do banco de dados relativa ao dados cadastrais dos poços. A sistematização dos registros foi desenvolvida de maneira a viabilizar futuras inserções, sendo que os parâmetros relativos às fontes de captação foram organizados no banco, conforme relacionado a seguir.

Figura 5.3. Visualização de página do banco de dados em Access

- Parâmetros de Registro
 - ✓ Identificação Servmar: identificação definida pela empresa Servmar
 - ✓ Fonte: instituição ou trabalho técnico onde foram obtidos os dados das fontes de captação;

- ✓ Identificação: número de identificação da fonte de captação, definido pelo detentor do registro original ou codificação efetuada pela empresa;
- Parâmetros de Cadastro
 - ✓ Proprietário: nome do proprietário da fonte de captação
 - ✓ Município: município onde está inserida a fonte de captação;
 - ✓ Localidade: bairro, distrito ou denominação da localidade, no município, onde está inserida a fonte de captação;
 - ✓ Natureza: indicação de propriedade, se particular ou público;
 - ✓ Coord_E: posicionamento geográfico de longitude em UTM;
 - ✓ Coord_N: posicionamento geográfico de latitude em UTM;
 - ✓ Cota: posicionamento geográfico de altitude em relação ao nível médio do mar em metros;
- Parâmetros de Tipificação de Uso
 - ✓ Situação: status operacional da fonte de captação (operando, desativado, tamponado, etc)
 - ✓ Tipo: indicação do tipo de captação, se poço tubular, poço escavado ou nascente;
 - ✓ Uso: indicação do uso da água captada (abastecimento público, agrícola, industrial, comercial, doméstico, estudo etc);
 - ✓ Finalidade: finalidade do uso da água (dessedentação animal, irrigação, consumo humano, jardinagem, processos etc)
- Parâmetros Técnicos Construtivos e Hidrodinâmicos
 - ✓ Perfuradora: empresa responsável pela perfuração do poço tubular;
 - ✓ Data_Perf: data de perfuração do poço.
 - ✓ Equipamento: tipo do equipamento utilizado para captação da água subterrânea;
 - ✓ Perfil: informação se o poço possui ou não perfis litológico e/ou construtivo;
 - ✓ Nat_Revest: natureza do revestimento;
 - ✓ Alt_Boca_m: altura da boca do poço, em metros, a partir da superfície do terreno;
 - ✓ Prof_m.: profundidade do poço em metros;
 - ✓ Diam_rev_pol: diâmetro da tubulação de revestimento do poço em polegadas;
 - ✓ Filtro: comprimento da seção filtrante do poço tubular em metros;
 - ✓ Teste_bombeamento: indicação positiva ou negativa da existência de dados sobre teste de bombeamento;
 - ✓ $T_{m^2_s}$: transmissividade em m^2/s ;
 - ✓ $Q_{m^3_h}$: vazão da fonte em m^3/h ;
 - ✓ $Q_{m^3_dia}$: vazão da fonte em m^3/dia ;
 - ✓ Regime_h: regime de exploração da fonte em horas/dia;

- ✓ Ne__m: nível estático do poço em metros;
 - ✓ Nd__m: nível dinâmico do poço em metros;
 - ✓ s (m): rebaixamento do nível do poço (Ne – Nd);
 - ✓ K_m_s: condutividade hidráulica em m/s
 - ✓ Q/s: vazão específica do poço em m³/h/m;
- Parâmetros Técnicos Geológicos e Hidrogeológicos
- ✓ Aquífero: unidade aquífera explotada pela fonte de captação, em geral definida pelo posicionamento dos filtros;
 - ✓ Condição: condicionamento hidráulico do aquífero (livre, confinado ou semiconfinado);
 - ✓ Tipo: tipificação do aquífero (poroso, fissural ou cárstico);
 - ✓ Esp. Dunas (m): espessura, em metros, do Aquífero Dunas, definida no perfil geológico de perfuração do poço tubular;
 - ✓ Esp. Barreiras (m): espessura, em metros, do Aquífero Barreiras, definida no perfil geológico de perfuração do poço tubular;
 - ✓ Esp. Jandaíra (m): espessura, em metros, do Aquífero Jandaíra, definida no perfil geológico de perfuração do poço tubular;
 - ✓ Esp. Açú (m): espessura, em metros, do Aquífero Açú, definida no perfil geológico de perfuração do poço tubular;
 - ✓ Esp. Arenito Cretáceo (m): espessura, em metros, do Aquífero Arenito Cretáceo, definida no perfil geológico de perfuração do poço tubular;
 - ✓ Esp. Carbonato Cretáceo (m): espessura, em metros, do Aquífero Carbonato Cretáceo, definida no perfil geológico de perfuração do poço tubular;
 - ✓ Formação: unidades estratigráficas (formação), interceptadas, total ou parcialmente, pela perfuração do poço tubular e identificadas no perfil geológico de perfuração;
 - ✓ Cristalino: indicação orientativa da presença do embasamento cristalino na perfuração do poço tubular;
 - ✓ Estrutura: tipo de estrutura geológica associada;
 - ✓ Perfilagem: indicação da existência de perfilagem ótica, acústica e/ou elétrica (eletroresistividade) do poço;
- Parâmetros Técnicos de Qualidade da Água
- ✓ Data_Análise: data da análise para os parâmetros indicados a seguir;
 - ✓ Laboratório_Análise: laboratório que realizou a análise;
 - ✓ RS_mg/L: resultados de resíduos sólidos em mg/L;
 - ✓ CE_μS/cm: valor da condutividade elétrica em μS/cm;
 - ✓ pH: valor de pH;
 - ✓ Eh_mV: potencial de oxi-redução em mV;
 - ✓ Temp: temperatura em graus Celsius;
 - ✓ STD_mg/L: valor de sólidos totais dissolvidos em mg/L;

- ✓ Alcalinidade_Total_mg/L_CaCO₃: valor de alcalinidade total em mg/L;
- ✓ Dureza_Total_mg/L_CaCO₃: valor de dureza total em mg/L;
- ✓ Cl_mg/L: valor de cloreto em mg/L;
- ✓ Na_mg/L: valor de sódio em mg/L;
- ✓ Ca_mg/L: valor de cálcio em mg/L;
- ✓ K_mg/L: valor de potássio em mg/L;
- ✓ CO₃_mg/L: valor de carbonato em mg/L;
- ✓ HCO₃_mg/L: valor de bicarbonato em mg/L;
- ✓ SO₄_mg/L: valor de sulfato em mg/L;
- ✓ Mg_mg/L: valor de magnésio em mg/L;
- ✓ Fe_mg/L: valor de ferro total em mg/L;
- ✓ Mn_mg/L: valor de manganês em mg/L;
- ✓ N-NO₂_mg/L: valor de nitrito em mg/L de nitrogênio;
- ✓ N-NO₃_mg/L: valor de nitrato em mg/L de nitrogênio;
- ✓ NH₃_mg/L: valor de amônia em mg/L;

Adicionalmente às informações indicadas acima, para os poços cadastrados em campo pela Servmar foram coletadas os dados indicados a seguir.

- Parâmetros relacionados ao cadastro de poços em campo:
 - ✓ Nome do informante: nome do responsável pelas informações cedidas no momento do cadastro;
 - ✓ Contato: telefone para contato do informante;
 - ✓ Data de cadastro: data da visita de campo para realização do cadastro;
 - ✓ Conservação da fonte: conservação da fonte conforme observação da pessoa responsável pelo cadastro;
 - ✓ Laje de proteção: se possui ou não laje de proteção;
 - ✓ Tampa: se o poço possui ou não tampa;
 - ✓ Perímetro de proteção: se o perímetro de proteção do poço foi respeitado;
 - ✓ Cercado: se o poço possui cerca de isolamento;
 - ✓ Revestimento: tipo de revestimento do poço (PVC, concreto, aço etc);
 - ✓ Fonte de contaminação/distância do poço: tipo de fontes de contaminação que possam ameaçar a integridade do poço e distância do mesmo;
 - ✓ Cor: cor da água produzida pelo poço;
 - ✓ Odor: odor da água produzida pelo poço;
 - ✓ Possui reservatório: se o poço possui caixa d'água;
 - ✓ Ponto de coleta: se o poço possui ponto de coleta de água;
 - ✓ N_A: nível d'água medido no momento do cadastro;

5.3 Apresentação e análise de dados do cadastro de poços

Entre os nove municípios inseridos na RMN, Natal é o que apresenta o maior número de fontes de captação (1766), representando 38% do cadastro, seguido por Ceará-Mirim (555), São Gonçalo do Amarante (471), Nísia Floresta (415), Macaíba (367), Parnamirim (347), São José do Mipibu (257), Extremoz (275) e Monte Alegre (121), conforme distribuição demonstrada na **Figura 5.4**. Além desses, há no cadastro 39 poços localizados em municípios vizinhos à RMN, posicionados próximos aos limites da área de estudo.

Os poços tubulares perfazem 78% das fontes de captação, os cacimbas 17% e as nascentes pouco menos de 1%. Além disso, há 91 piezômetros cadastrados na área. Além desses, há no cadastro 71 pontos sem informações de tipo de fonte captação. (**Figura 5.4**).

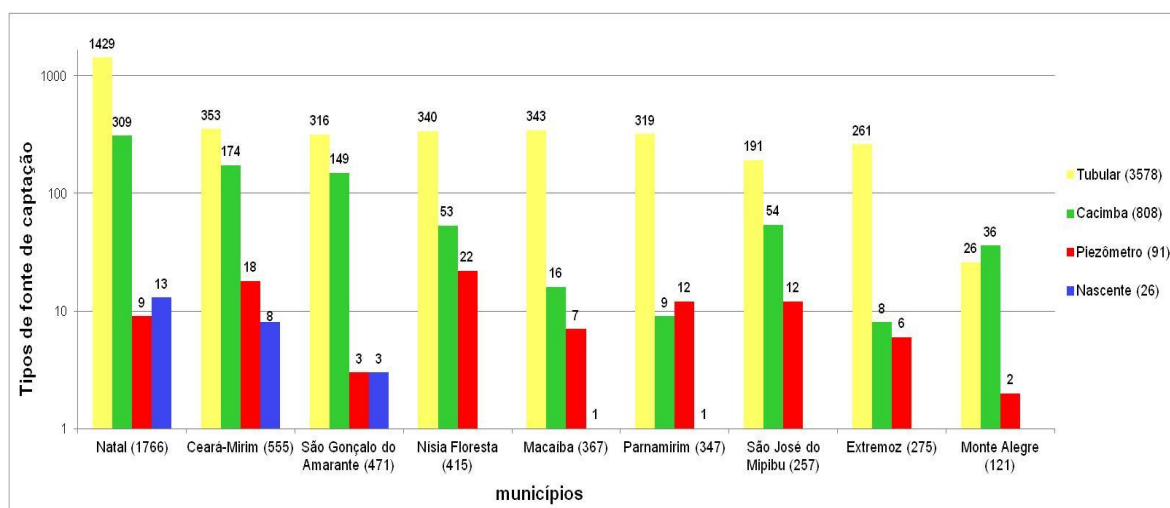
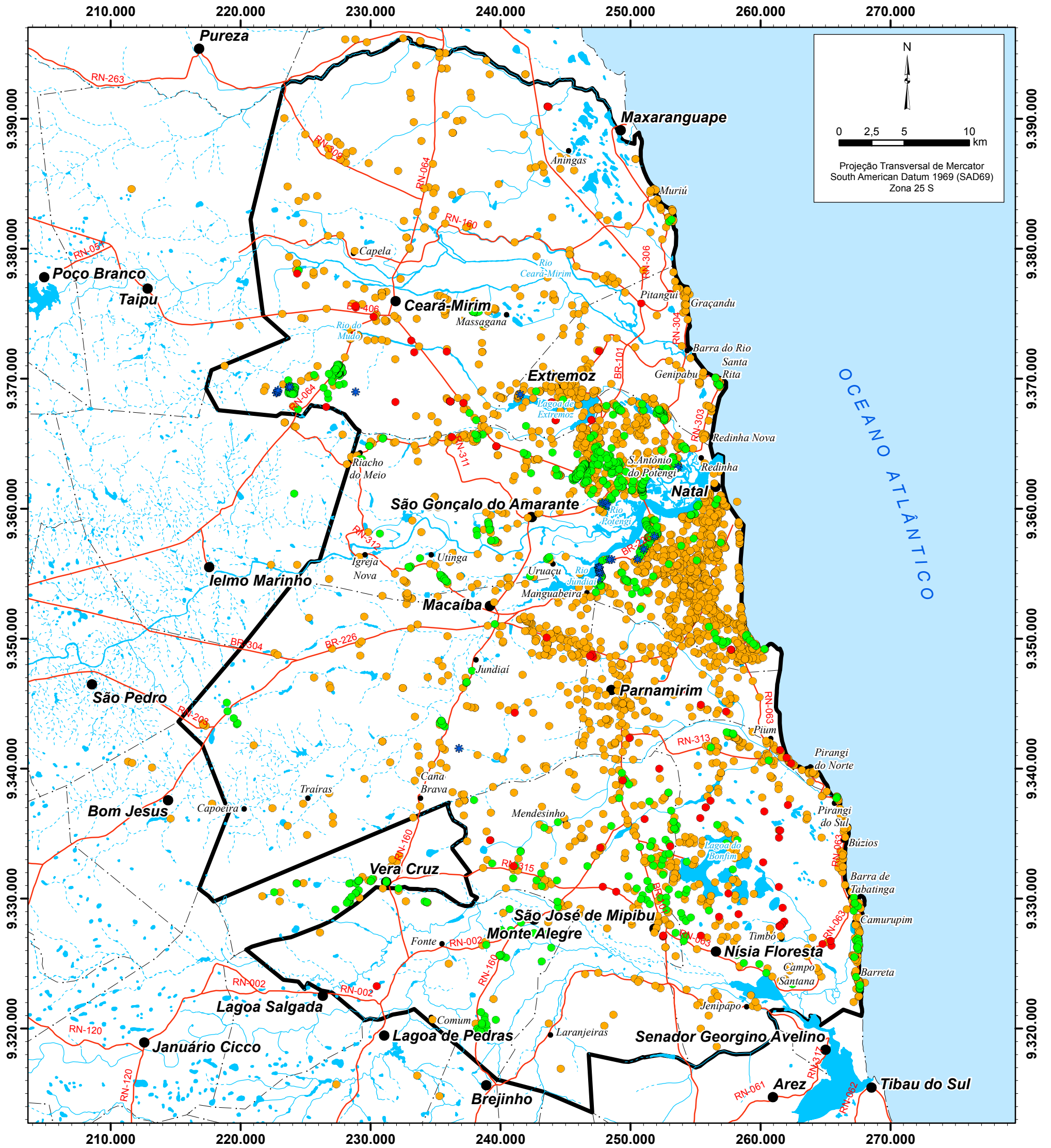


Figura 5.4. Distribuição dos tipos de fontes de captação por município da RMN

A concentração de poços nas sedes urbanas dos municípios é compatível com o modelo de desenvolvimento do uso da água subterrânea na área de estudo, ficando evidenciada essa característica na **Figura 5.5** que apresenta a distribuição espacial das fontes de captação georreferenciadas, segundo sua tipificação.

O município de Natal e as regiões litorâneas dos demais municípios da RMN concentram a ocorrência dos poços, coincidindo com os locais com maior nível de desenvolvimento urbano da região.



N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator
South American Datum 1969 (SAD69)
Zona 25 S

Fontes de Captação

- ★ Nascente (26)
- Piezômetro (91)
- Cacimba (808)
- Tubular (3578)

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados e assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM
Localização da área de estudo



Figura 5.5. Tipos de fontes da Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

SEMARH SECRETARIA DE ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE DE RECURSOS HÍDRICOS

Servmar AMBIENTAL & ENGENHARIA

O cadastro de fontes de captação de água subterrânea apresenta informações acerca do uso das águas subterrâneas e, visando equalizar os registros relacionados aos tipos de usos, foram adotadas as seguintes classificações:

- abastecimento público – designado às fontes que servem para o abastecimento das sedes ou comunidades dos municípios, em geral, de propriedade das concessionárias de abastecimento (CAERN e Serviços Autônomos Municipais);
- doméstico – uso para diversas finalidades, tais como consumo humano, limpezas gerais, jardinagem, etc, realizado a partir de fontes particulares, em geral, situadas em residências e condomínios;
- comercial – designado às fontes de captação existentes em empreendimentos comerciais, tais como hotéis, restaurantes, shopping centers, supermercados, entre outros, com diversas finalidades de usos;
- industrial: designado às fontes de captação existentes em empreendimentos industriais, independentemente da finalidade de uso para consumo, processos, jardinagem ou demais aplicações;
- agrícola: designado às fontes de captação existentes nas propriedades rurais, nas quais as diversas finalidades de uso (dessedentação de animais, irrigação e consumo humano) são necessárias, já que, em geral, não existem outras opções de abastecimento de água disponíveis.
- serviços: designado para diferenciar os poços de propriedade pública que não possuem a finalidade de abastecimento da população. Em geral, são fontes de captação usadas para jardinagem de canteiros, praças e instalações operacionais de algumas instituições públicas.
- estudo: designado para caracterizar os poços instalados com a finalidade de atender a pesquisas, estudos ou monitoramento, sendo que os piezômetros são a maioria dos registros que contemplam essa classificação.

A **Figura 5.6** apresenta a distribuição das fontes pelo tipo de uso, demonstrando a significativa representatividade do abastecimento público (37%) nas fontes cadastradas. Em cerca de 31% das fontes de captação do cadastro não há a indicação do tipo de uso e não há dados, nessas fontes de captação, que permita inferir qual é a utilização das águas exploradas. No cadastro existem 126 fontes de captação, a maioria poços tubulares, que possuem o registro de estarem desativados ou secos. No entanto, não existe a indicação, nos registros originais, das razões que levaram à desativação dessas fontes de captação.

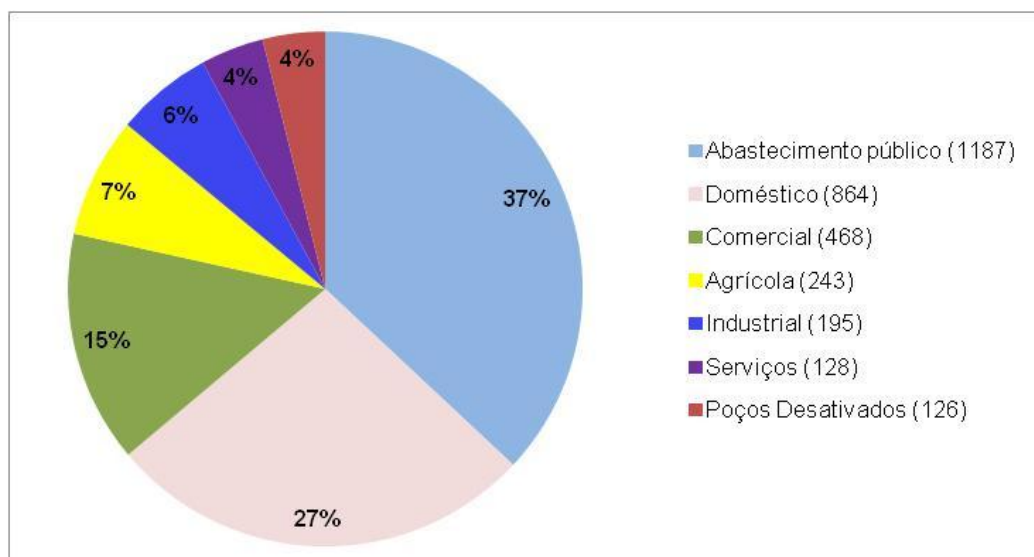


Figura 5.6. Quantidade de fontes por tipos de uso

As fontes de captação existentes no cadastro, contendo dados de vazões e finalidade de uso, foram avaliadas visando determinar o perfil de consumo por tipo de uso. A **Tabela 5.1** registra a estatística elaborada, indicando a média de vazão de exploração por finalidade de consumo. Com base nos dados de vazão das fontes de captação do cadastro compilado, as maiores vazões médias ocorrem nos poços destinados ao uso agrícola, sendo que Ceará-Mirim é o município que apresenta maior vazão média para esse uso.

No cadastro existem alguns poços para o abastecimento público com altas vazões, acima de 80 m³/h. No entanto, a elevada rede de poços para abastecimento público, que inclui também diversos poços com baixas vazões, proporciona vazões médias inferiores às encontradas nos usos agrícola e industriais de alguns municípios (**Tabela 5.1**).

Tabela 5.1. Vazão média dos poços por finalidade de uso (m³/h)						
Município	Abast. público	Doméstico	Comercial	Industrial	Agrícola	Serviços
Ceará-Mirim	8,14	5,18	8,38	30,14	35,47	6,40
Extremoz	25,01	13,12	11,11	23,49	12,00	-
Macaíba	7,95	3,85	5,07	17,77	8,36	9,08
Monte Alegre	3,49	0,66	-	-	694,20	-
Natal	46,59	10,39	12,08	16,00	11,00	11,27
Nísia Floresta	12,92	4,57	7,84	6,70	12,42	-
Parnamirim	34,31	18,52	9,68	19,93	35,60	16,00
S. G. Amarante	8,57	12,72	10,77	21,26	3,63	7,06
S. José do Mipibu	11,87	5,06	18,07	8,84	15,46	16,62
Média	17,65	20,84	10,37	18,01	92,02	11,07

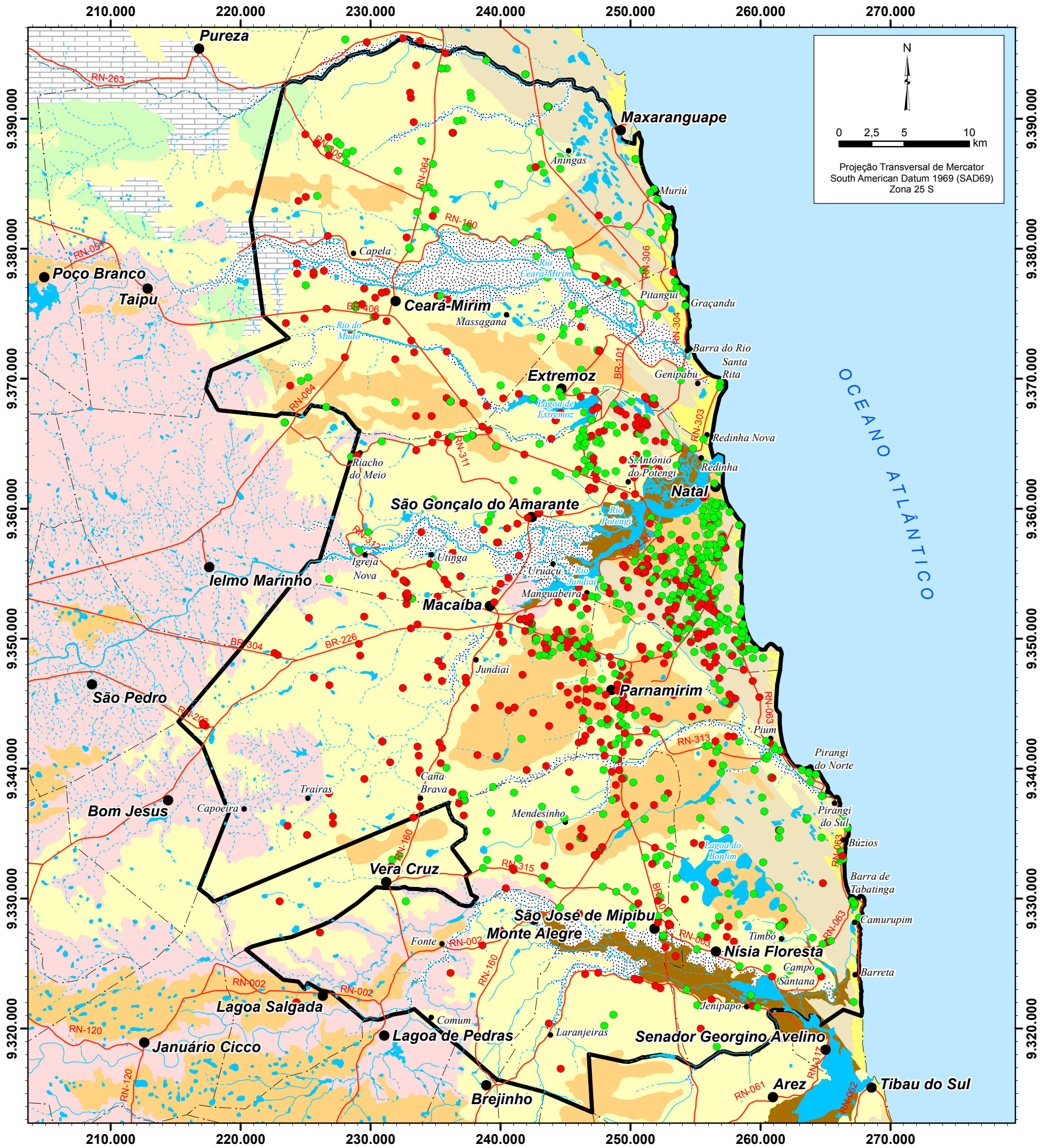
As informações relativas aos perfis litológicos dos poços são muito importantes na evolução do conhecimento sobre a geologia e estratigrafia local. Estas informações, por exemplo, somente foram encontradas em 44% dos poços do cadastro. A **Figura 5.7** apresenta a localização dos poços com essa informação e que são georreferenciados, destacando a qualificação do dado que permite identificar as relações estratigráficas do aquífero Barreiras.

Ressalta-se que a **Figura 5.7** corresponde ao Mapa Geológico elaborado com as interpretações efetuadas nesse trabalho, sendo suprimida propositalmente a litologia de Depósitos colúvio-eluviais, visando correlacionar os poços com a ocorrência da formação Barreiras.

Os dados provenientes dos perfis geológicos refinaram o conhecimento acerca das ocorrências das formações geológicas, da estratigrafia local e das espessuras das unidades aquíferas. Essas compreensões adicionais, associadas aos aspectos de contorno da bacia e aos condicionamentos estruturais permitirão inferir as dimensões dos aquíferos de interesse na área.

O cadastro de poços consistido também permitiu identificar as unidades aquíferas em exploração na área de estudo, bem como identificar o nível de importância, em termos da quantidade de poços captando água de um dado aquífero. Apesar de 55% dos poços não possuírem a indicação do aquífero que explota, os demais registros permitem constatar que os poços exploram as seguintes unidades aquíferas: Dunas, Barreiras, Arenito Calcífero, Jandaíra, Açú e Embasamento Cristalino.

O aquífero Barreiras representa a preponderante fonte de suprimento de água subterrânea da área de estudo, sendo explorado através de 1.840 poços, ou seja, 92% dos que dispõem dessa informação. Em 1.737 poços a exploração é feita exclusivamente desse aquífero, em 51, a exploração ocorre dos aquíferos Dunas e Barreiras simultaneamente e, os demais (52) exploram o Barreiras juntamente com outro aquífero, sendo, mais comum, o Arenito Calcífero. Apesar de a grande maioria dos poços não possuírem informações sobre perfil construtivo e do aquífero que exploram, acredita-se que mais de 95% dos poços do cadastros captam as águas do Barreiras.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Poços Tubulares com Perfil Litológico

- Parcialmente penetrantes no aquífero Barreiras (1202)
- Totalmente penetrantes no aquífero Barreiras (800)

Unidades Litoestratigráficas

- Depósitos de mangue e flúvio-marinhos - lama, silte, argila e areia
- Depósitos aluvionares - areia, argila arenosa, cascalho
- Depósitos colúvio-eluviais - areia, argila arenosa, cascalho
- Depósitos litorâneos de praia e dunas móveis - areia fina a média
- Depósitos eólicos litorâneos de paleodunas - areia fina a média
- Formação Barreiras - arenito argiloso, argilito arenoso, arenito conglomerático
- Formação Jandaíra - calcarenitos, folhelhos, calcilitos, argilitos

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados e assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

- Formação Açú - arenitos, siltitos, argilitos
- Embasamento cristalino - granodiorito, granito, monzonito, ortognaisse-tonalítico, ortognaisse-granodiorítico, metatondjhemito, monzogranito, sienogranito, leucogranito

Localização da área de estudo



Figura 5.7. Poços tubulares com perfil litológico na Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



A análise dos perfis litológicos dos poços permitiu avaliar as espessuras das unidades litoestratigráficas na RMN, conforme demonstra a **Tabela 5.2** que contou apenas com registros de poços totalmente penetrantes nessas unidades.

Tabela 5.2. Espessuras das unidades litoestratigráficas				
Unidade Litoestratigráfica	Nº de Dados	Espessura (m)		
		Mínima	Máxima	Média
Dunas	362	0,40	72	12
Barreiras	800	1	126	58
Arenito Calcífero	26	3	274	26
Jandaíra	17	26	100	51
Açu	5	20	48	35

Com base nos dados disponíveis no cadastro, foi realizada uma análise estatística preliminar de alguns parâmetros hidrogeológicos. A **Tabela 5.3** apresenta as características de profundidade dos poços, vazão de exploração e nível estático, separadamente para cada aquífero. Ressalta-se que as informações de nível estático são oriundas dos registros existentes e são, provavelmente, os níveis medidos na construção dos poços.

A **Tabela 5.3** a seguir apresenta um elenco de dados que caracteriza individualmente os aquíferos, bem como, dados que são resultantes da interconectividade de aquíferos geradas por poços de captações múltiplas. Essas classificações sobre o(s) aquífero(s) captado(s) pelo poço foram transcritas literalmente dos registros originais.

Deve-se atentar que as maiores vazões de exploração são encontradas em poços que exploram o aquífero Barreiras, isoladamente ou em conjunto com outros aquíferos, demonstrando as melhores potencialidades nominais desse aquífero, em relação aos demais existentes na área. A maior média de vazão foi encontrada para os poços que exploram conjuntamente os aquíferos Barreiras e o Arenito Calcífero. No entanto, isso pode estar relacionado às elevadas espessuras de Barreiras que são atravessadas para ser alcançado o Arenito Calcífero.

As vazões de exploração dependem fortemente das características construtivas dos poços, quanto da capacidade produtiva do aquífero. Por essa razão é que a avaliação dos resultados de vazões específicas permitem melhores compreensões acerca das potencialidades dos aquíferos.

Tabela 5.3. Parâmetros Hidrogeológicos dos Poços do Cadastro

		Nº de dados	Máximo	Mínimo	Média
BARREIRAS	Cota (m)	241	138,00	0,17	43,10
	Prof (m)	1730	190,00	1,00	64,12
	Q (m ³ /h)	1525	350,00	0,20	22,42
	Q/s (m ³ /h/m)	1453	1052,63	0,02	11,29
	NE (m)	1557	119,69	0,00	20,88
DUNAS - BARREIRAS	Cota (m)	9	38,72	7,00	29,40
	Prof (m)	48	125,00	29,00	67,78
	Q (m ³ /h)	43	130,00	1,20	16,56
	Q/s (m ³ /h/m)	38	19,86	0,04	4,97
	NE (m)	43	47,41	0,50	16,20
BARREIRAS - CALCÍFERO	Cota (m)	4	31,50	14,38	26,82
	Prof (m)	23	150,00	21,50	71,97
	Q (m ³ /h)	22	145,00	1,09	41,95
	Q/s (m ³ /h/m)	22	36,25	0,10	7,79
	NE (m)	23	33,53	1,40	16,02
ARENITO CALCÍFERO	Cota (m)	1	ND	ND	2,94
	Prof (m)	10	163,60	17,00	99,36
	Q (m ³ /h)	10	240,00	1,40	28,85
	Q/s (m ³ /h/m)	9	0,76	0,06	0,26
	NE (m)	9	39,95	0,92	9,00
CRISTALINO	Cota (m)	1	ND	ND	85,00
	Prof (m)	73	101,00	9,60	46,57
	Q (m ³ /h)	57	14,40	0,15	2,83
	Q/s (m ³ /h/m)	49	16,89	0,01	1,02
	NE (m)	50	41,00	0,00	11,41
JANDAÍRA	Cota (m)	1	ND	ND	54,15
	Prof (m)	10	110,00	51,00	76,00
	Q (m ³ /h)	10	19,50	0,63	5,60
	Q/s (m ³ /h/m)	8	6,54	0,02	1,76
	NE (m)	10	50,01	3,21	23,83
JANDAÍRA - AÇU	Cota (m)	ND	ND	ND	ND
	Prof (m)	5	98,00	66,00	86,80
	Q (m ³ /h)	5	10,00	3,60	6,52
	Q/s (m ³ /h/m)	5	0,83	0,34	0,51
	NE (m)	5	55,81	1,20	32,52
AÇU	Cota (m)	2	100,00	72,00	86,00
	Prof (m)	8	150,00	94,00	123,50
	Q (m ³ /h)	7	15,00	1,70	10,01
	Q/s (m ³ /h/m)	7	75,00	0,06	12,46
	NE (m)	8	56,74	2,27	37,48

* NE = 0,0 refere-se aos poços jorrantes; ND: dado não disponível.

Visando à compreensão das capacidades produtivas dos aquíferos, foi efetuada uma comparação entre as vazões específicas dos poços que exploram o aquífero Barreiras, exclusivamente e em conjunto com o Aquífero Dunas (**Figura 5.8**). Essa avaliação não foi efetuada para os demais aquíferos, haja vista a baixa quantidade de poços.

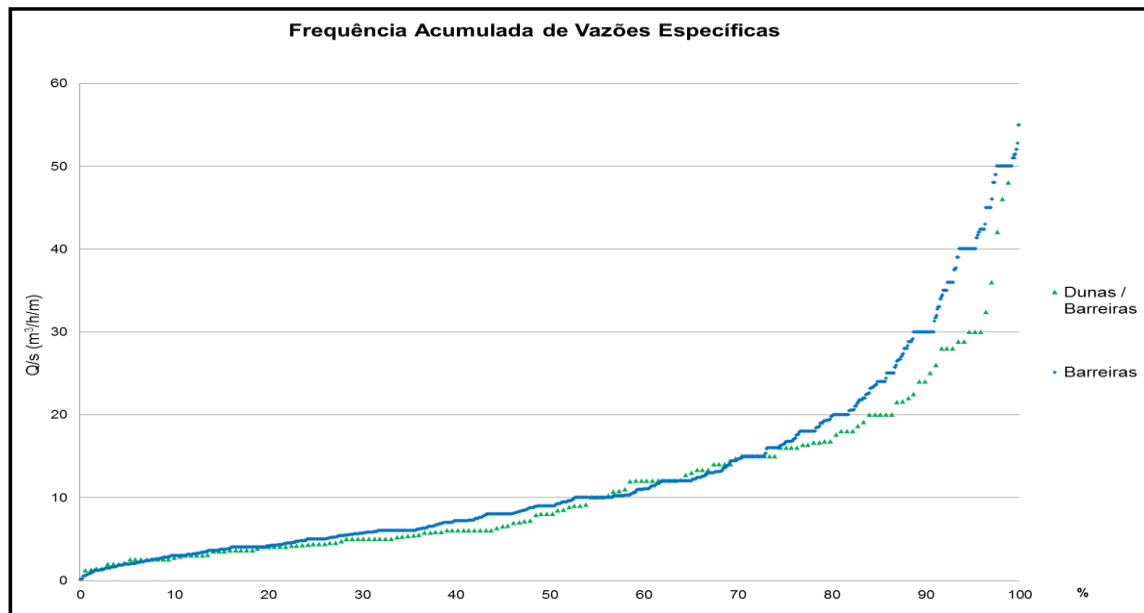


Figura 5.8. Frequência acumulada das vazões específicas do Aquífero Barreiras

A **Figura 5.8** acima permite avaliar que o Aquífero Barreiras, isoladamente explorado ou explorado em conjunto com o Aquífero Dunas apresenta potencial produtivo muito elevado, sendo que o Aquífero Barreiras isolado é, ainda, maior. A partir de 50% dos dados de vazão específica os poços, os resultados indicam vazões acima de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ para cada metro rebaixado, chegando a valores máximos da ordem de $50 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

No cadastro de poços também estão compilados dados hidroquímicos que compõe um universo de resultados analíticos pré-existentes. A **Tabela 5.4** demonstra a quantidade dos principais dados hidroquímicos compilados no cadastro, relativos a poços georreferenciados que possuem também as informações construtivas.

Cabe ressaltar que esses dados foram avaliados e os mais representativos foram utilizados na consolidação do conhecimento sobre a hidroquímica do Sistema Aquífero Barreiras na área, como base às interpretações alcançadas com os resultados analíticos obtidos neste estudo, discutidos no capítulo específico.

Tabela 5.4. Quantidade dados hidroquímicos pré-existent			
Parâmetro	Qtdd. Dados	Parâmetro	Qtdd. Dados
Cl ⁻	547	Na ⁺	314
C.E.	557	NH ₃ ⁻	282
pH	583	NO ₂ ⁻	372
Mg ⁺²	441	K ⁺	310
N-NO ₃ ⁻	542	STD	300
Ca ⁺²	455	HCO ₃ ⁻	169
SO ₄ ⁻²	378	Total de registros ¹	604

1- Total de poços contendo alguma informação de análise química relativa aos parâmetros listados na Tabela.

O cadastramento de poços em campo não foi capaz de suprir a ausência de informação, principalmente de caráter técnico. No entanto, essa característica não surpreende, uma vez que seria muito improvável encontrar usuários conscientes dos dados técnicos de seus poços, sendo que são proprietários que, até então, estavam à margem de qualquer gestão ou controle da instalação e do uso desses elementos de infraestrutura hídrica.

As lacunas de informações relativas às fontes de captação configuram um cenário indesejável no processo de gestão do uso dos recursos hídricos subterrâneos, pois dificultam a real avaliação sobre o modelo de uso das águas subterrâneas. A busca pelo conhecimento mais amplo sobre as fontes de captação deve ser almejada nos mecanismos futuros de controle e fiscalização do uso dos recursos hídricos subterrâneos.

Os dados consistidos no cadastro de fontes foram utilizados na elaboração de diversos produtos apresentados nos três volumes que compõem este relatório, com destaque para:

- a revisão do mapa geológico existente sobre a RMN (CPRM, 2006), a partir da interpretação dos perfis litológicos dos poços (Capítulo 3 – Vol. 1);
- a estimativa da disponibilidade hídrica nos municípios, através das informações de quantidade de poços operando e suas respectivas vazões (Capítulo 12 – Vol. 1);
- o entendimento da geometria do SAB, através do uso de perfis de poços para elaboração de seções hidrogeológicas e mapa de espessura (Capítulo 12 – Vol. 1);
- a elaboração dos mapas de espessura da zona não saturada e de ocorrência de estratos, que permitiram a determinação da vulnerabilidade natural do SAB (Capítulo 7 – Vol. 2).

Entretanto, o principal avanço alcançado com o desenvolvimento desse banco de dados de poços é de permitir aos gestores públicos conhecer a amplitude do cenário de uso das águas subterrâneas e planejar ações de aproximação com os usuários, visando à regularização e à gestão do sustentável dos mananciais subterrâneos. Conforme será discutido a seguir, somente uma pequena parcela dos poços existentes na RMN possui outorga.

5.4 Apresentação e discussão dos dados de poços outorgados

O cadastro de outorga dos usuários dos recursos hídricos, fornecido pela SEMARH (**Apêndice B**) totaliza apenas 298 registros de outorgas para captação de água subterrânea através de poços tubulares, correspondendo a aproximadamente 7% do total de poços do cadastro compilado neste estudo. Desse universo de registros de outorga de uso da água, somente 43 outorgas ainda não expiraram o prazo determinado, ou seja, se consideradas somente as outorgas válidas, os poços regularizados representam menos de 1%.

A **Figura 5.9** apresenta um gráfico que mostra a distribuição das outorgas nos municípios da RMN, no qual observa-se que Parnamirim possui o maior número de outorgas, seguido de Natal e Macaíba, sendo que estes três municípios juntos são responsáveis por 62% das outorgas expedidas pela SEMARH para a RMN.

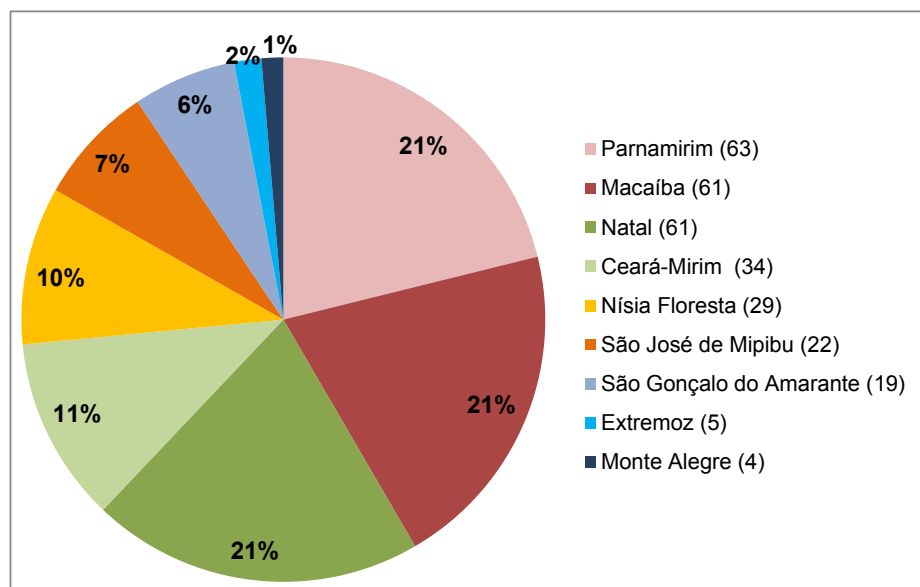


Figura 5.9. Distribuição das outorgas entre os municípios da RMN

O cadastro de outorgas possui as coordenadas geográficas UTM dos requerentes, assim foi possível elaborar a **Figura 5.10** com os pontos outorgados na Região Metropolitana de Natal.

O cadastro de outorgas de uso das águas subterrâneas apresenta que o consumo humano (137 processos), o industrial (90 processos) e a irrigação (37) são os principais usos requeridos, entretanto, em relação ao volume, a irrigação aparece com maior relevância que o uso industrial (**Tabela 5.5**).

A partir das vazões outorgadas apresentadas na **Tabela 5.5**, pode-se estimar um volume total explotado anualmente de $72 \times 10^6 \text{ m}^3$. Apesar de o número de poços outorgados representar menos de 7% dos poços existentes, os volumes outorgados representam cerca de 43% de todo volume explotados pelos poços do cadastro.

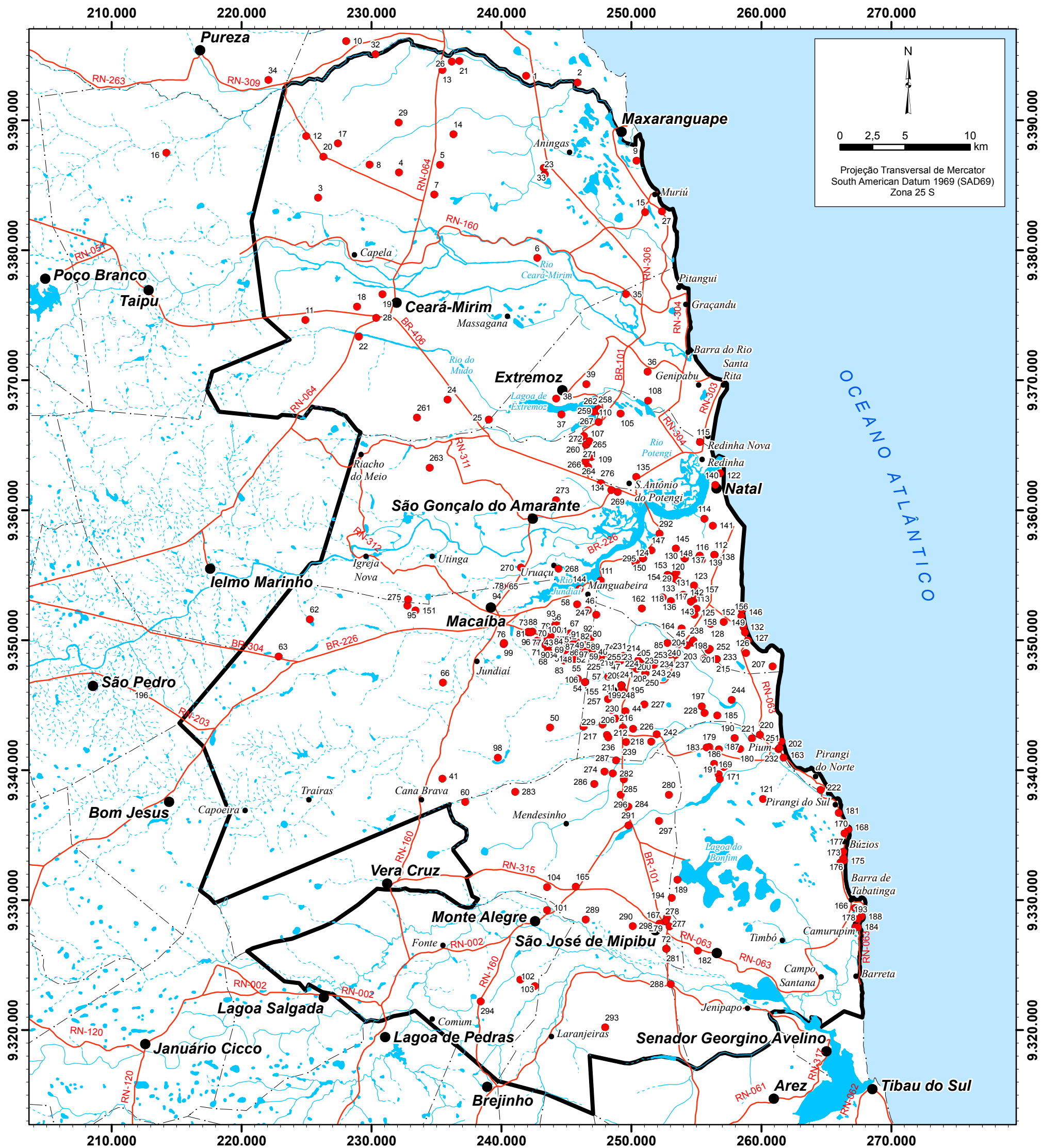
Tabela 5.5. Vazão requerida na outorga conforme uso da água		
Uso da água	Total de outorgas	Vazão total (m³/dia)
Abastecimento humano	137	124.387,62
Industrial	90	32.251,43
Irrigação	37	41.726,61
Outros	29	909,96
Dessedentação Animal	5	52,40
TOTAL	298	199.328,02

Fonte: Dados disponibilizados pela SEMARH.

Ainda que os poços outorgados sejam os mais produtivos da RMN, os volumes requeridos na outorga são muito elevados. A média da vazão outorgada, se projetada para todos os poços do cadastro representaria mais que o dobro da recarga total na RMN. Essa estimativa não representa a realidade, mas destaca a discussão que o órgão gestor deve pautar a emissão das outorgas com base no balanço hidrogeológico e não simplesmente pela vazão de teste do poço.

O cenário discutido acima leva a duas possíveis consequências indesejáveis: a de o requerente efetuar uma reserva temporária (no prazo da outorga) de um dado volume de água subterrânea que não necessita ou a de explotar a totalidade outorga e, neste caso, se replicada para todo universos de poços existente na RMN, certamente haveria um cenário de superexplotação do SAB.

Entretanto, a situação mais crítica está refletida no baixíssimo número de outorgas e que representa uma enorme dificuldade ao processo de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Legenda

● Poços com outorga (298)

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Localização da área de estudo



Figura 5.10. Cadastro de poços outorgados na Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



6 CONSTRUÇÃO DE POÇOS TUBULARES: POÇOS EXPLORATÓRIOS E POÇOS DE OBSERVAÇÃO

A locação dos poços foi precedida de reunião com a Comissão de Acompanhamento e Fiscalização (CTAF) para escolha, validação, análise e aprovação das áreas de interesse, cujas investigações contribuíssem na concepção do modelo hidrogeológico, elucidando e preenchendo as lacunas hidrogeológicas porventura existentes, tendo em vista a melhoria no conhecimento dos parâmetros hidrodinâmicos e potencialidades do aquífero.

A premissa básica a ser observada incluiu a penetração total no Sistema Aquífero Barreiras para os poços exploratórios, além da perfuração de poços de observação que permitissem a interpretação de parâmetros hidráulicos a serem obtidos por ocasião dos testes de aquífero. Os municípios de Nísia Floresta, Ceará-Mirim e Extremoz foram escolhidos por preencherem os requisitos específicos para execução desta atividade.

O TDR previa construção de poços tubulares, constituindo dispositivos de medição para os testes de aquífero, formados por poços exploratórios totalmente penetrantes no Sistema Aquífero Barreiras com poços de observação associados. Estava prevista a construção de 2 poços exploratórios com 2 poços de observação para cada um deles e 2 poços exploratórios com 1 poço de observação para cada um deles. As profundidades indicadas no TDR para a construção eram da ordem de 70 m para cada poço exploratório e, para os poços de observação, as profundidades previstas variavam de 40 a 60 m. As profundidades médias dos poços especificadas no TDR permitiram definir quantidades máximas de 280 m de poços exploratórios e 360 m de poços de observação.

As distâncias entre os poços exploratórios e os poços de observação foram selecionadas em torno de 50 e 100 m considerando a relação de distância entre as espessuras totais e saturadas do aquífero e o posicionamento das seções filtrantes nos poços exploratórios e de observação.

Em função das espessuras do Sistema Aquífero Barreiras, foram perfurados 3 poços exploratórios totalizando 262,80 m e os respectivos poços de observação totalizando 391 m. De acordo com as descrições litológicas das sondagens, no município de Nísia Floresta a profundidade da base do SAB foi encontrada entre 104 e 109 m, no município de Ceará-Mirim entre 80 e 83 m e em Extremoz entre 72 e 75 m. As espessuras encontradas para o SAB nos locais perfurados possibilitaram a construção de 2 poços de observação em Nísia Floresta e Ceará-Mirim e apenas um em Extremoz, onde foi possível utilizar um poço particular como poço de observação, com a devida permissão do proprietário.

As camadas superiores situadas acima do pré-filtro foram isoladas com pasta de cimento a 8% de bentonita para que não houvesse contribuição de águas dos níveis mais superiores que pudessem influenciar na representatividade dos resultados dos ensaios.

Em todos os poços exploratórios foi assumida a instalação de tubos de proteção sanitária, contrariando às práticas locais que não adotam esse procedimento e adicionalmente aos custos de construção dos poços previstos nessas especificações. A fixação do tubo de proteção sanitária foi efetuada com cimentação em toda a extensão do tubo, formando o selo sanitário de proteção contra infiltrações de águas pluviais via pré-filtro. Todos os poços de exploração foram limpos e desenvolvidos pelo sistema de ar comprimido e plungeamento, aplicando o hexametáfosfato de sódio (Hexa T) no processo de limpeza do mesmo, alternando essas operações com bombeamentos. Esta operação foi desenvolvida por um tempo suficiente até que a água bombeada durante o processo de limpeza ficasse completamente limpa e livre de finos (sedimentos).

A construção foi executada dentro das normas da ABNT, pela empresa Proseng Projetos e Serviços de Engenharia Ltda, fiscalizada e supervisionada pela Servmar, sendo realizados acompanhamentos e fiscalização de campo pelos geólogos das empresas. As atividades de projeto e construção dos poços foram realizadas com recolhimento da Anotação de Responsabilidade Técnica – ART, registrada no CREA-RN. Os relatórios técnicos construtivos e os dados hidráulicos obtidos nos poços estão apresentados no **Apêndice C**.

Foram preenchidos todos os requisitos legais por parte da ANA – Agência Nacional de Águas (proprietária) Servmar (projetista) e Proseng (executora contratada) quanto ao protocolo e obtenção de Licença de Obra Hidráulica junto à SEMARH, órgão gestor estadual.

A metodologia empregada utilizou percussão de baixa frequência, com coleta de amostras de metro em metro, possibilitando a descrição litológica macroscópica com a finalidade de selecionar os intervalos a serem aplicadas as seções filtrantes otimizando a produção dos poços.

Ressalta-se que as metodologias de sondagem e de descrição macroscópica das amostras utilizadas nesse trabalho são as localmente disponíveis e amplamente utilizadas na construção dos poços existentes nessa região. No entanto, possuem limitações para descrições mais detalhadas e precisas, uma vez que o método de coleta das amostras pode misturar materiais de diferentes posições do perfil de perfuração e, desse modo, tornar imprecisa a caracterização das litologias.

Diante das limitações dos métodos aplicados também se julgou inapropriado efetuar correlações estratigráficas de detalhe, tais como caracterizações faciológicas e as definições das respectivas denominações litoestratigráficas, subdividindo as formações. Assim, a descrição macroscópica limitou-se a caracterização dos constituintes granulométricos e coloração das amostras, buscando à relativa avaliação de níveis mais porosos e permeáveis de outros menos condutivos, visando, sobretudo, caracterizar os aspectos hidrogeológicos dos perfis, objetivo maior desses estudos.

O perfil construtivo dos poços foi definido com base nas descrições macroscópicas das amostras, sendo aplicados tubos de revestimento de pvc geomecânico com conexão ponta e bolsa rosqueável, tipo standard e filtros geomecânicos com abertura 0,75 mm, ambos com o diâmetro de 150 mm, instalados nos poços exploratórios. Os poços de observação foram perfurados em 150 mm e revestidos em 50 mm para possibilitar a injeção de pré-filtro de 1 a 3 mm, observados os mesmos critérios dos poços de exploração.

Após o revestimento dos poços foram realizados os acabamentos, construindo-se as lajes de proteção sanitária com a instalação de tubos metálicos dotados de travas e cadeados para garantir o adequado fechamento dos poços. Conforme previsto no escopo desses estudos, os poços foram georreferenciados utilizando GPS Geodésico, sendo realizado entalhe na parte externa do tubo para marcar a posição da cota topográfica obtida.

Em que pese ter havido disponibilidade por parte da empresa perfuradora para iniciar os trabalhos imediatamente à aprovação dos locais de perfuração pela CTAF, houve grande dificuldade de convencimento para cessão das áreas por parte dos proprietários, demandando inúmeras visitas de campo e mais de três semanas entre a aprovação dos locais e a obtenção dos documentos necessários ao protocolo dos requerimentos de obra hidráulica.

Os detalhes construtivos de cada campanha serão apresentados a seguir obedecendo a ordem cronológica de construção.

6.1 Nísia Floresta – Lagoa Amarela

A **Figura 6.1** apresenta a configuração dos poços de exploração e observação perfurados no entorno da lagoa Amarela, no município de Nísia Floresta.

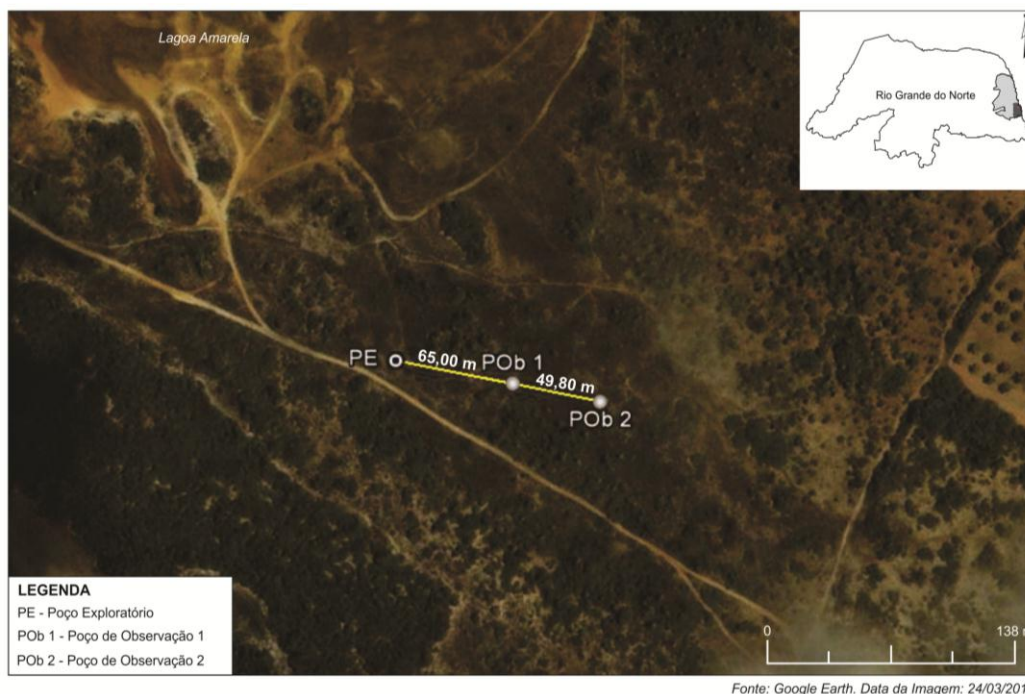


Figura 6.1. Croqui de localização dos poços perfurados no entorno da Lagoa Amarela - Nísia Floresta

POÇO EXPLORATÓRIO (PE)

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

Município: Nísia Floresta

Bairro/Distrito: Lagoa Amarela

Endereço: Próximo a Lagoa Amarela

Proprietário: Agência Nacional de Águas - ANA

Empresa perfuradora: PROSENG Projetos e Serviços de Engenharia Ltda.

Bacia Hidrográfica: Rio Pirangi

Número do poço no cadastro Servmar: NZF0404

Projetista: Mateus Delatim Simonato

Fiscalização: Tereza Cristina Campos Falcão/ Rejanne Alves da Silva França

Coordenadas UTM: 261397,917E/9335269,384N

Cota (m): 35,28 (terreno) / 35,55 (ranhura)

Tipo de poço: Tubular

Finalidade da perfuração: Estudos hidrológicos/exploratório

Uso da água: Exploratório

Estado do poço: Não equipado utilizável

Aquífero: Barreiras

II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Data de início: 01/11/2011

Data do término: 07/11/2011

Profundidade útil (m): 104

Diâmetros de perfuração:

0 a 7 = 584 mm (23")

7 a 106 = 330 mm (13")

Método: Percussão

Fluidos

Bentonita até 7 m

CMC de 7 até 106 m

Tubo de proteção sanitária

Profundidade (m): +0,1 a 7 m

Tipo de tubo: Aço preto com costura/espessura parede 3,18 mm

Cimentação: 0 a 7 m/volume 0,3 m³/traço: calda a 8% de bentonita

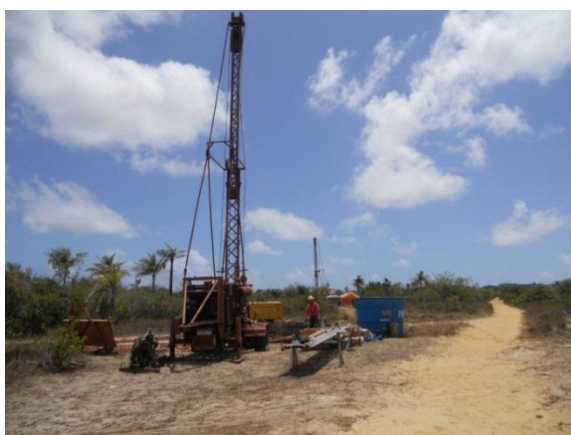


Foto 1. Perfuração do PE e PO-01 de Nisia Floresta - Lagoa Amarela, em 01/11/2011



Foto 2. PE de Nisia Floresta concluído, tubo de fechamento e marca da ranhura do nivelamento topográfico

III – REVESTIMENTO

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
+0,96	54	152	6	Geomecânico ¹
82	90	152	6	Geomecânico ¹
102	104	152	6	Geomecânico ¹
TOTAL	64,96			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std.

IV – FILTROS

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
54	82	152	6	Geomecânico ¹
90	102	152	6	Geomecânico ¹
TOTAL	40			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std, abertura de 0,75 mm.

V – PRÉ-FILTRO

Tipo: Subangular

Granulometria: 1,27 a 3 mm

Fornecedor: GEMIL

Volume injetado: 10 m³ - sacos de 50 kg

Cimentação: 0 a 28 m/volume 2,5 m³/traço: calda a 8% de bentonita

Vedação: Compactolit de 28 a 30 m



Foto 3. Pré-filtro na embalagem



Foto 4. Aspecto do pré-filtro

VI - PERFIL GEOLÓGICO

De (m)	A (m)	Descrição litológica macroscópica
0	3	Areia fina, bem selecionada, esbranquiçada
3	12	Arenito síltico, creme a alaranjado
12	24	Arenito síltico-argiloso, esbranquiçada a telha
24	28	Arenito argiloso, creme
28	29	Arenito, esbranquiçado
29	31	Arenito mal selecionado, com seixos de quartzo e concreções ferruginosas
31	50	Siltito arenoso, branco a avermelhado
50	84	Arenito fino a médio, pouco síltico, creme
84	90	Arenito fino a médio, argiloso, avermelhado
90	97	Arenito fino, creme
97	102	Arenito muito fino, pouco síltico, creme
102	104	Arenito muito fino, pouco síltico, cinza
104	106	Arenito calcífero, cinza



Foto 5. Amostras da perfuração



Foto 6. Descrição das amostras

VII – PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De (m)	A (m)	Formação Geológica
0	3	Dunas
3	104	Barreiras
104	106	Rochas carbonáticas

NOME DO POÇO: Poço Exploratório
 MUNICÍPIO: Nísia Floresta
 LOCALIDADE: Lagoa Amarela

COORDENADAS UTM (DATUM SAD 69 25S):
 261398E / 9335269N
 Cota (m): 35,28

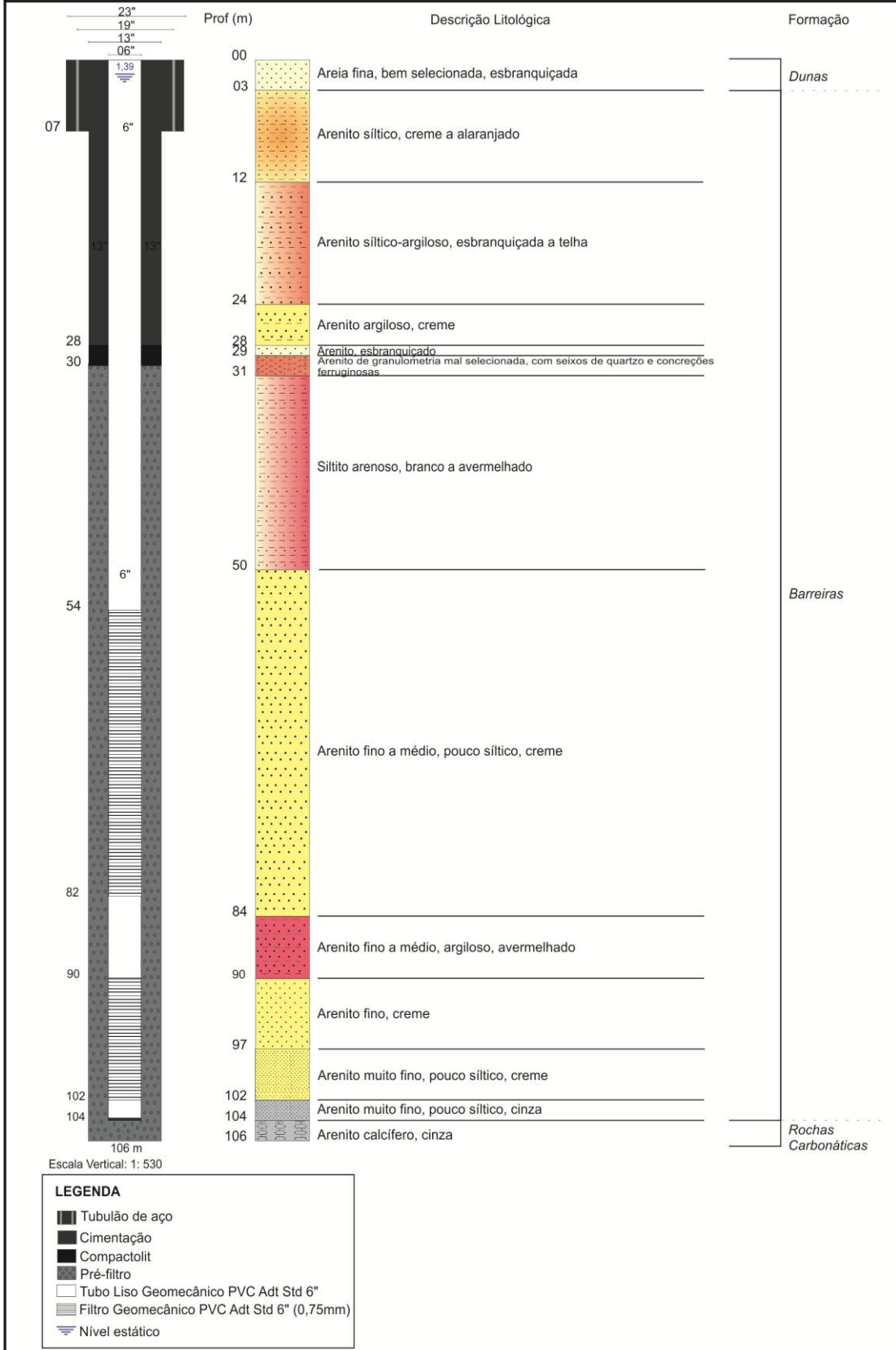


Figura 6.2. Perfil geológico e construtivo do PE da Lagoa Amarela

POÇO DE OBSERVAÇÃO (PO-01)

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

Município: Nísia Floresta

Bairro/Distrito: Lagoa Amarela

Endereço: Próximo a lagoa Amarela

Proprietário: Agencia Nacional de Águas - ANA

Empresa perfuradora: PROSENG Projetos e Serviços de Engenharia Ltda.

Bacia Hidrográfica: Rio Pirangi

Numero do poço no cadastro Servmar: NZF0405

Projetista: Mateus Delatim Simonato

Fiscalização: Tereza Cristina Campos Falcão/Rejanne Alves da S. França

Coordenadas UTM: 261462,276E/9335256,240N

Cota (m): 35,97 (terreno) / ranhura (36,38)

Tipo de poço: Tubular

Finalidade da perfuração: Estudos hidrogelógicos/ observação

Uso da água: Observação

Estado do poço: Não equipado utilizável

Aquífero: Barreiras



Foto 7. PO-01 da Lagoa Amarela - Nísia Floresta: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico

II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Profundidade (m): 110

Diametros de perfuração:

0 a 110 = 177,8 mm (7")

Método: Percussão

Fluido: CMC

Cimentação: 0 a 28 m/volume 0,6 m³/traço: calda a 8% de bentonita

III – REVESTIMENTO

De (m)	A (m)	Diametro (mm)	Diametro (pol)	Material
+0,5	49	50	2	Geomecânico ¹
73	87	50	2	Geomecânico ¹
103	105	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	65,5			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std.

IV – FILTROS

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
49	73	50	2	Geomecânico ¹
87	103	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	40			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std, abertura de 0,75 mm.

V – PRÉ-FILTRO

Tipo: Subangular

Granulometria: 1,27 a 3 mm

Fornecedor: GEMIL

Volume injetado: 3,5 m³

Cimentação: 0 a 28 m/volume 0,6 m³/traço: calda a 8% de bentonita

Vedação: Compactolit de 28 a 30 m

VI - PERFIL GEOLÓGICO

De (m)	A (m)	Descrição litológica macroscópica
0	2	Areia fina, bem selecionada, esbranquiçada
2	8	Arenito fino, bem selecionado, alaranjado
8	13	Arenito mal selecionado, com seixos pequenos, alaranjado
13	21	Arenito fino a médio, esbranquiçado
21	22	Arenito fino a médio, esbranquiçado com concreções ferruginosas
22	36	Arenito fino a médio, esbranquiçado
36	49	Arenito muito fino, branco a avermelhado
49	74	Arenito fino a médio, pouco siltico, creme
74	80	Siltito arenoso, alaranjado claro
80	86	Arenito fino a médio, siltico-argiloso, alaranjado
86	103	Arenito fino a médio, esbranquiçado
103	109	Arenito fino a médio, siltico-argiloso, cinza
109	110	Arenito calcífero, cinza

VII – PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De (m)	A (m)	Formação geológica
0	2	Dunas
2	109	Barreiras
109	110	Rochas carbonáticas

NOME DO POÇO: PO-01
 MUNICÍPIO: Nísia Floresta
 LOCALIDADE: Lagoa Amarela

COORDENADAS UTM (DATUM SAD 69 25S):
 261462E / 9335256N
 Cota (m): 36

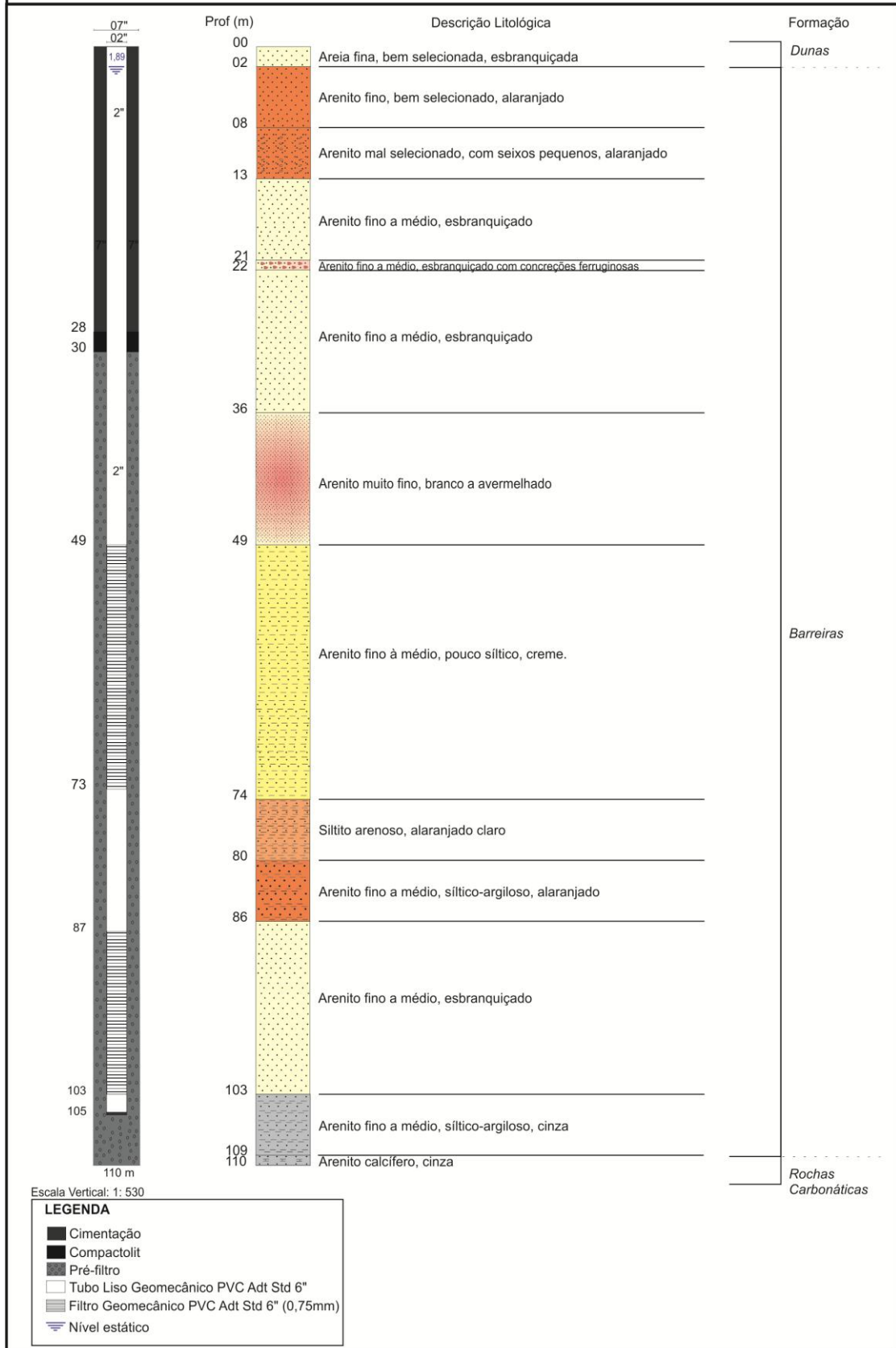


Figura 6.3. Perfil geológico e construtivo do PO-01 da Lagoa Amarela - Nísia Floresta

POÇO DE OBSERVAÇÃO (PO-02)

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

Município: Nísia Floresta

Bairro/Distrito: Lagoa Amarela

Endereço: Próximo a Lagoa Amarela

Proprietário: Agencia Nacional de Águas - ANA

Empresa perfuradora: PROSENG Projetos e Serviços de Engenharia Ltda.

Bacia Hidrográfica: Rio Pirangi

Numero do poço no cadastro Servmar: NZF0406

Projetista: Mateus Delatim Simonato

Fiscalização: Tereza Cristina Campos Falcão/Rejanne Alves da Silva França

Coordenadas UTM: 261511,086E/9335246,513N

Cota (m): 35,65 (terreno) / 36,10 (ranhura)

Tipo de poço: Tubular

Finalidade da perfuração: Estudos hidrogelógicos/ observação

Uso da água: Observação

Estado do poço: Não equipado utilizável

Aquífero: Barreiras



Foto 8. PO-02 da Lagoa Amarela - Nísia Floresta: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico

II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Data início: 07/11/2011

Data término: 10/11/2011

Profundidade (m): 60

Diametros de perfuração: 0 a 62 = 177,8 mm (7")

Método: Percussão

Fluido: CMC

III – REVESTIMENTO

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
+0,63	22	50	2	Geomecânico ¹
32	36	50	2	Geomecânico ¹
38	50	50	2	Geomecânico ¹
58	60	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	40,63			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std.

IV – FILTROS

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
22	32	50	2	Geomecânico ¹
36	38	50	2	Geomecânico ¹
50	58	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	20			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std, abertura de 0,75 mm.

V – PRÉ-FILTRO

Tipo: Subangular

Granulometria: 1,27 a 3 mm

Fornecedor: GEMIL

Volume injetado: 1,23 m³

Cimentação: 0 a 13 m/volume 0,3 m³/traço: calda a 8% de bentonita

Vedação: Compactolit de 11 a 13 m

VI - PERFIL GEOLÓGICO

De (m)	A (m)	Descrição litológica macroscópica
0	1	Areia fina a média, esbranquiçada
1	6	Arenito pouco síltico, avermelhado
6	10	Siltito argiloso, avermelhado
10	14	Argila avermelhada
14	22	Siltito argiloso, pouco arenoso, branco a avermelhado
22	32	Arenito muito fino, esbranquiçado
32	36	Argilito síltico, esbranquiçado
36	38	Arenito, muito fino, creme
38	50	Arenito, mal selecionado, síltico-argiloso, com concreções ferrosas até 44 m, branco a avermelhado
50	58	Arenito síltico, avermelhado de 50 a 54 m e amarelado de 54 a 58 m
58	62	Arenito, argiloso, amarelo ocre.

VIII – PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De (m)	A (m)	Formação Geológica
0	1	Dunas
1	62	Barreiras

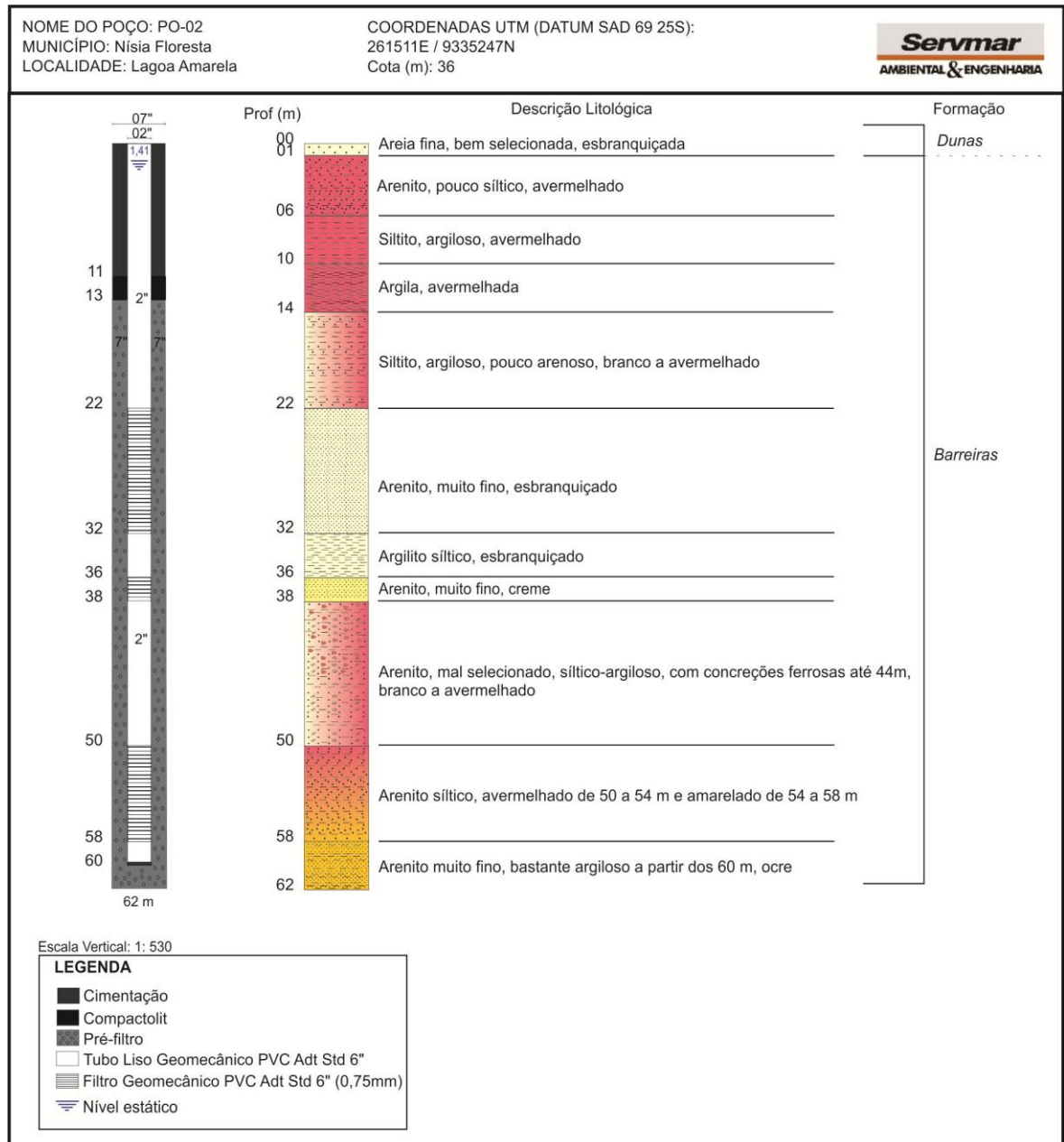


Figura 6.4. Perfil geológico e construtivo do PO-02 da Lagoa Amarela – Nísia Floresta

Com a finalidade de ilustrar a variação litológica entre os poços perfurados, a **Figura 6.5** foi elaborada apresentando perfil esquemático em escala aproximada para visualizar as diferenciações entre o poço exploratório e os poços de observação.

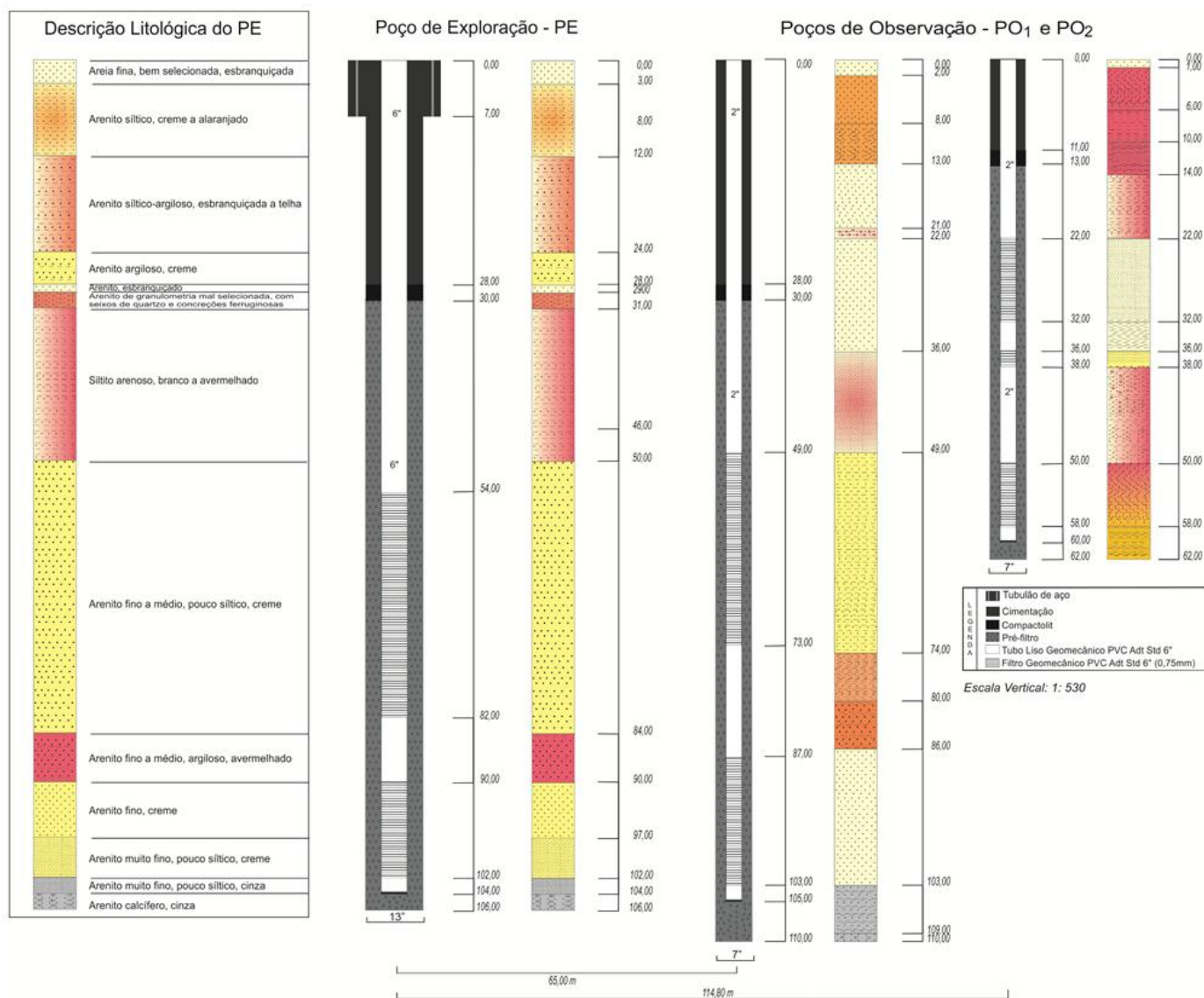


Figura 6.5. Perfil esquemático do PE e poços de observação PO-01 e 02 de Nísia Floresta - Lagoa Amarela

6.2 Ceará-Mirim – Fazenda São Mateus

A **Figura 6.6** apresenta a configuração dos poços de exploração e observação perfurados na Fazenda São Mateus, no município de Ceará-Mirim.

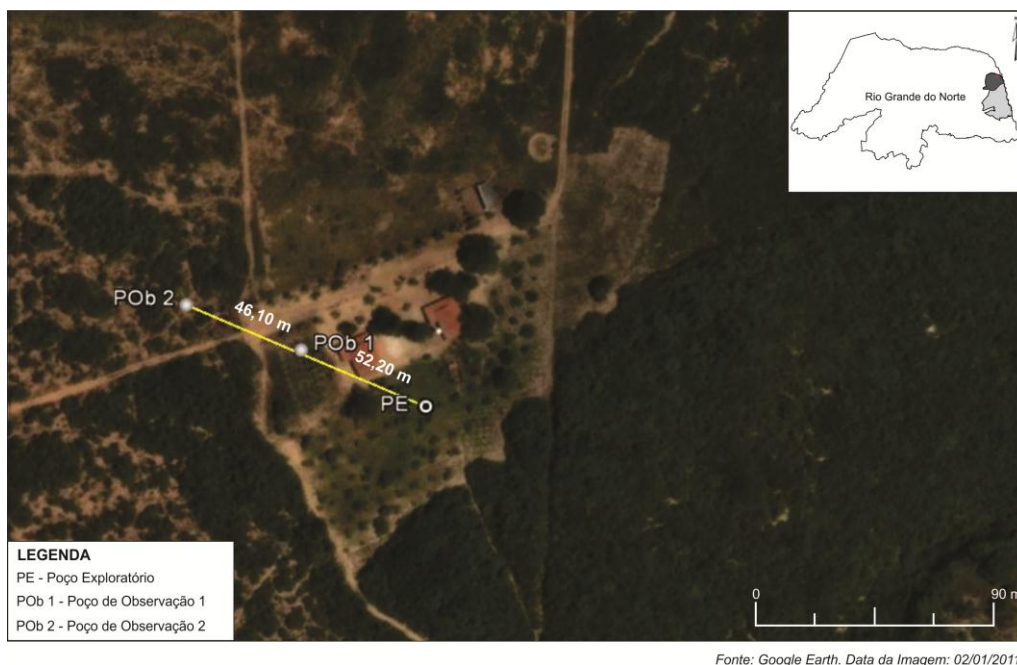


Figura 6.6. Croqui de localização dos poços perfurados na Fazenda São Mateus - Ceará-Mirim

POÇO EXPLORATÓRIO (PE)

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

Município: Ceará-Mirim

Bairro/Distrito: BR-101, área rural

Endereço: Fazenda São Mateus

Proprietário: Agencia Nacional de Águas - ANA

Empresa perfuradora: PROSENG Projetos e Serviços de Engenharia Ltda.

Bacia Hidrográfica: Rio Maxaranguape, curso de água Rio Riachão

Numero do poço no cadastro Servmar: CRM0552

Projetista: Mateus Delatim Simonato

Fiscalização: Tereza Cristina Campos Falcão/ Rejanne Alves da S.França

Coordenadas UTM: 243694,845E/9390920,863N

Cota (m): 19,04 (terreno) / 19,41 (ranhura)

Tipo de poço: Tubular

Finalidade da perfuração: Estudos hidrológicos/exploratório

Uso da água: Exploratório

Estado do poço: Não equipado utilizável

Aquífero: Barreiras

II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Data início: 01/11/2011

Data término: 10/11/2011

Profundidade (m): 83

Diametros de perfuração:

0 a 4 = 419 mm (16 ½ ")

4 a 83,80 = 330 mm (13")

Método: Percussão

Fluidos: Nada até 30 m

CMC de 30 até 83,80 m

Tubo de proteção sanitária

Profundidade (m): +0,1 a 4 m

Tipo de tubo: Aço preto com costura/espessura parede 3,18 mm

Cimentação: 0 a 4 m/volume 0,3 m³/traço: calda a 8% de bentonita

III – REVESTIMENTO

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
+0,87	51	152	6	Geomecânico ¹
81	83	152	6	Geomecânico ¹
TOTAL	53,87			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std.



Foto 9. Descida do revestimento no PE da Fazenda São Mateus – Ceará-Mirim



Foto 10. PE Faz. São Mateus - Ceará-Mirim: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico

IV – FILTROS

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
51	81	152	6	Geomecânico ¹
TOTAL	30			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std, abertura de 0,75 mm.

V – PRÉ-FILTRO

Tipo: Subangular

Granulometria: 1,27 a 3 mm

Fornecedor: GEMIL

Volume injetado: 7 m³

Cimentação: 0 a 28 m/volume 2,5 m³/traço: calda a 8% de bentonita

Vedação: Compactolit de 28 a 30 m

VI - PERFIL GEOLÓGICO

De (m)	A (m)	Descrição litológica macroscópica
0	4	Areia, síltica, creme
4	8	Siltito, argiloso, com seixos de quartzo e concreções ferruginosas, branco a avermelhado
8	14	Arenito, bastante argiloso, com grãos mais grosseiros até 10m e mais fino até os 13m, avermelhado
14	17	Arenito fino a médio, síltico-argiloso, com bastante concreções de ferro, amarronzado
17	25	Argilito, avermelhado a alaranjado
25	31	Argilito, arenoso, avermelhado a amarelado
31	46	Arenito, muito fino, amarelado
46	50	Arenito, muito fino, síltico, amarelado
50	56	Arenito fino a médio, síltico, amarelado
56	60	Arenito grosseiro, creme
60	70	Arenito médio, creme
70	83	Arenito grosseiro, creme
83	83,8	Arenito calcífero, creme

VII – PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De (m)	A (m)	Formação Geológica
0	4	Cobertura Sedimentar
4	83	Barreiras
83	83,8	Rochas carbonáticas

NOME DO POÇO: Poço Exploratório
MUNICÍPIO: Ceará Mirim
LOCALIDADE: Fazenda São Mateus

COORDENADAS UTM (DATUM SAD 69 25S):
243695E / 9390921N
Cota (m): 19

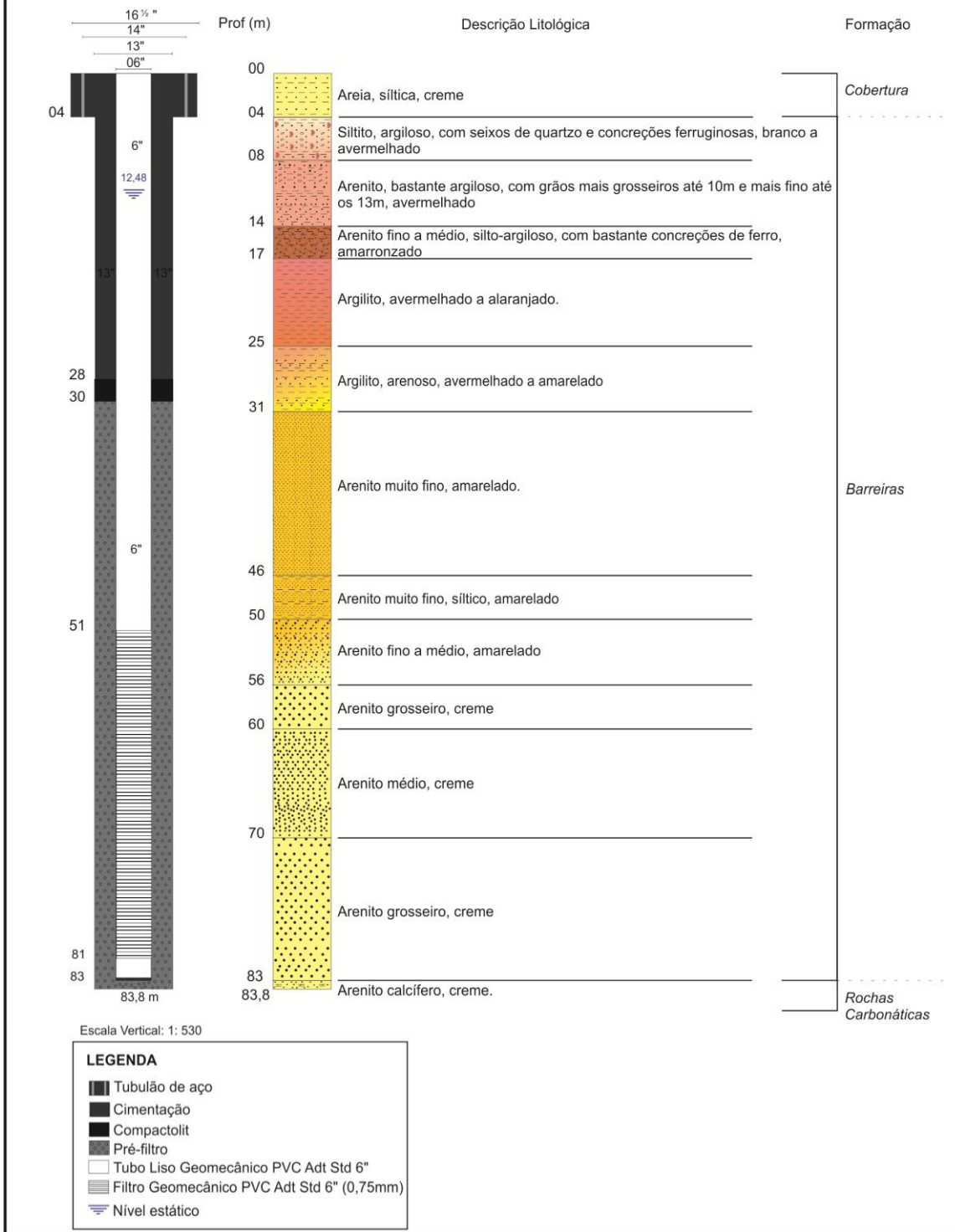


Figura 6.7. Perfil geológico e construtivo do PE da Fazenda São Mateus – Ceará-Mirim

POÇO OBSERVAÇÃO (PO-01)

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

Município: Ceará-Mirim

Bairro/Distrito: BR-101, área rural

Endereço: Fazenda São Mateus

Proprietário: Agencia Nacional de Águas - ANA

Empresa perfuradora: PROSENG Projetos e Serviços de Engenharia Ltda.

Bacia Hidrográfica: do Rio Maxaranguape, no curso d'água Rio Riachão

Numero do poço no cadastro Servmar: CRM0553

Projetista: Mateus Delatim Simonato

Fiscalização: Tereza Cristina Falcão/Rejanne Alves da S. França

Coordenadas UTM: 243602,678E/9390958,295N

Cota (m): 20,55 (terreno) / 20,91 (ranhura)

Tipo de poço: Tubular

Finalidade da perfuração: Estudos hidrogelológicos/ observação

Uso da água: Observação

Estado do poço: Não equipado utilizável

Aquífero: Barreiras



Foto 11. PO-01 Fazenda São Mateus - Ceará-Mirim: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico

II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Data início: 15/11/2011

Data término: 17/11/2011

Profundidade (m): 80

Diametros de perfuração: 0 a 82 = 177,8 mm (7")

Método: Percussão

Fluido: CMC

Cimentação: 0 a 28 m/volume 0,6 m³/traço: calda a 8% de bentonita

III – REVESTIMENTO

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
+0,5	48	50	2	Geomecânico ¹
78	80	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	50,5			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std.

IV – FILTROS

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
48	78	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	30			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std, abertura de 0,75 mm.

V – PRÉ-FILTRO

Tipo: Subangular

Granulometria: 1,27 a 3 mm

Fornecedor: GEMIL

Volume injetado: 3 m³

Cimentação: 0 a 28 m/volume 0,6 m³/traço: calda a 8% de bentonita

Vedação: Compactolit de 28 a 30 m

VI - PERFIL GEOLÓGICO

De (m)	A (m)	Descrição litológica macroscópica
0	2	Areia muito fina, siltica, bastante argilosa, amarelada
2	6	Arenito muito fino, argiloso, alaranjado
6	8	Arenito muito fino, siltico, bastante argiloso, avermelhado
8	10	Arenito fino, siltico- argiloso, com seixos de quartzo, amarronzado
10	14	Arenito fino, siltico-argiloso, esbranquiçado
14	16	Arenito fino, siltico-argiloso, com seixos de quartzo e concreções ferruginosas, amarronzado
16	34	Arenito fino, siltico, com poucas concreções ferruginosas, vermelho
34	46	Arenito médio, amarelado
46	72	Arenito fino a médio, com seixos de quartzo, amarelado
72	80	Arenito médio, acimentado a amarelado
80	82	Arenito calcífero, amarelado

VII – PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De (m)	A (m)	Formação geológica
0	2	Cobertura Sedimentar
2	80	Barreiras
80	82	Rochas carbonáticas

NOME DO POÇO: PO-01-CRM
 MUNICÍPIO: Ceará-Mirim
 LOCALIDADE: Faz. São Mateus

COORDENADAS UTM (DATUM SAD 69 25S):
 243603E / 9390958N
 Cota (m): 20,5

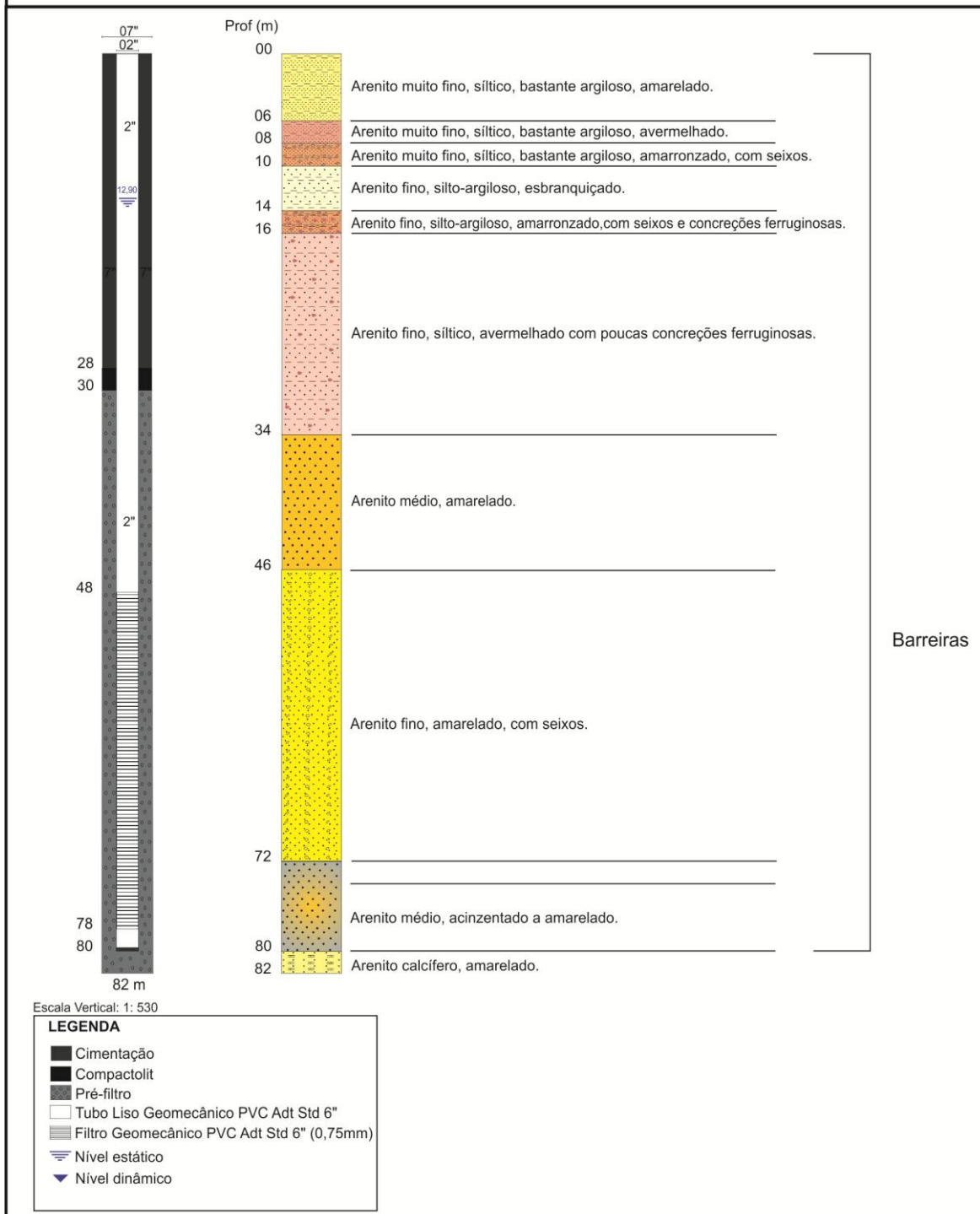


Figura 6.8. Perfil geológico e construtivo do PO-01 da Fazenda São Mateus – Ceará-Mirim

POÇO DE OBSERVAÇÃO (PO-02)

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

Município: Ceará-Mirim

Bairro/Distrito: BR-101, área rural

Endereço: Fazenda São Mateus

Proprietário: Agencia Nacional de Águas - ANA

Empresa perfuradora: PROSENG Projetos e Serviços de Engenharia Ltda.

Bacia Hidrográfica: do Rio Maxaranguape, no curso d'água Rio Riachão

Numero do poço no cadastro Servmar: CRM0554

Projetista: Mateus Delatim Simonato

Fiscalização: Tereza Cristina Campos Falcão/Rejanne Alves da S. França

Coordenadas UTM: 243646,419E/9390941,296N

Cota (m): 19,58 (terreno) / 19,87 (ranhura)

Tipo de poço: Tubular

Finalidade da perfuração: Estudos hidrogelógicos/ observação

Uso da água: Observação

Estado do poço: Não equipado utilizável

Aquífero: Barreiras



Foto 11. PO-02 Fazenda São Mateus - Ceará-Mirim: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico

II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Data início: 16/11/2011

Data término: 17/11/2011

Profundidade (m): 60

Diametros de perfuração:

0 a 60 = 177,8 mm (7")

Método: Percussão

Fluido: CMC

Cimentação: 0 a 14 m/volume 0,6 m³/traço: calda a 8% de bentonita

III – REVESTIMENTO

De (m)	A (m)	Diametro (mm)	Diametro (pol)	Material
+0,5	28	50	2	Geomecânico ¹
58	60	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	30,5			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std.

IV – FILTROS

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
28	58	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	30			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std, abertura de 0,75 mm.

V – PRÉ-FILTRO

Tipo: Subangular

Granulometria: 1,27 a 3 mm

Fornecedor: GEMIL

Volume injetado: 2,5 m³

Cimentação: 0 a 14 m/volume 0,6 m³/traço: calda a 8% de bentonita

Vedação: Compactolit de 14 a 16 m

VI - PERFIL GEOLÓGICO

De (m)	A (m)	Descrição litológica macroscópica
0	2	Areia muito fina, síltica, bastante argilosa, amarelada
2	6	Arenito muito fino, argiloso, amarelado a alaranjado
6	12	Argilito, pouco arenoso, com seixos de quartzo, avermelhado
12	16	Argilito, pouco arenoso, esbranquiçado
16	24	Arenito fino a médio, argiloso, com bastante concreções ferruginosas, amarronzado
24	28	Arenito médio, com seixos de quartzo e concreções ferruginosas, amarronzado
28	34	Arenito médio, amarelado
34	40	Arenito grosseiro, amarelado
40	52	Arenito fino a médio, amarelado
52	60	Arenito fino, amarelado

VII – PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De (m)	A (m)	Formação geológica
0	2	Cobertura Sedimentar
2	60	Barreiras

NOME DO POÇO: PO-02
MUNICÍPIO: Ceará-Mirim
LOCALIDADE: Faz. São Mateus

COORDENADAS UTM (DATUM SAD 69 25S):
243646E / 9390941N
Cota (m): 19,58

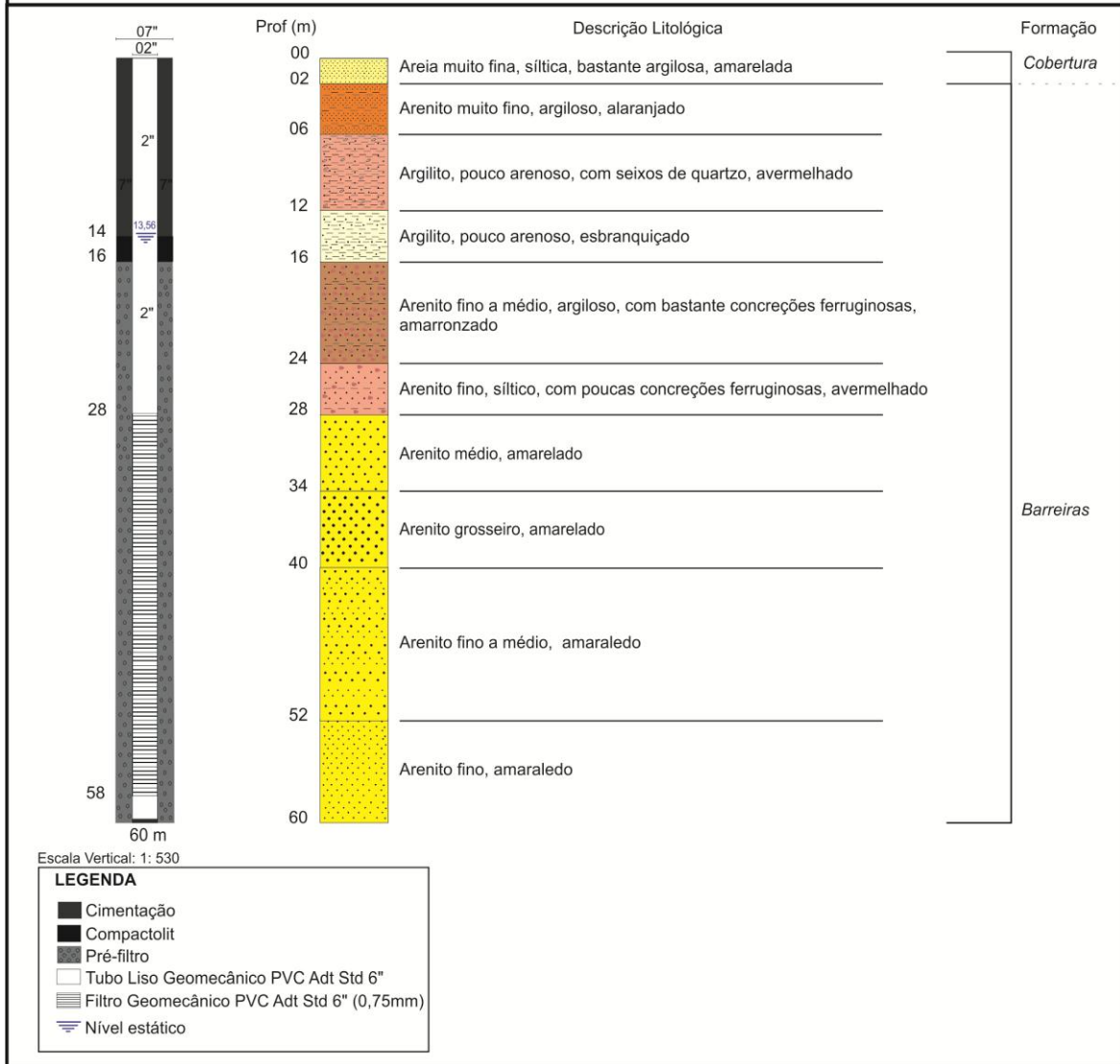


Figura 6.9. Perfil geológico e construtivo do PO-02 Fazenda São Mateus – Ceará-Mirim

Com a finalidade de ilustrar a variação litológica entre os poços perfurados, a **Figura 6.10** foi elaborada apresentando perfil esquemático em escala aproximada para visualizar as diferenciações entre o poço exploratório e os poços de observação.

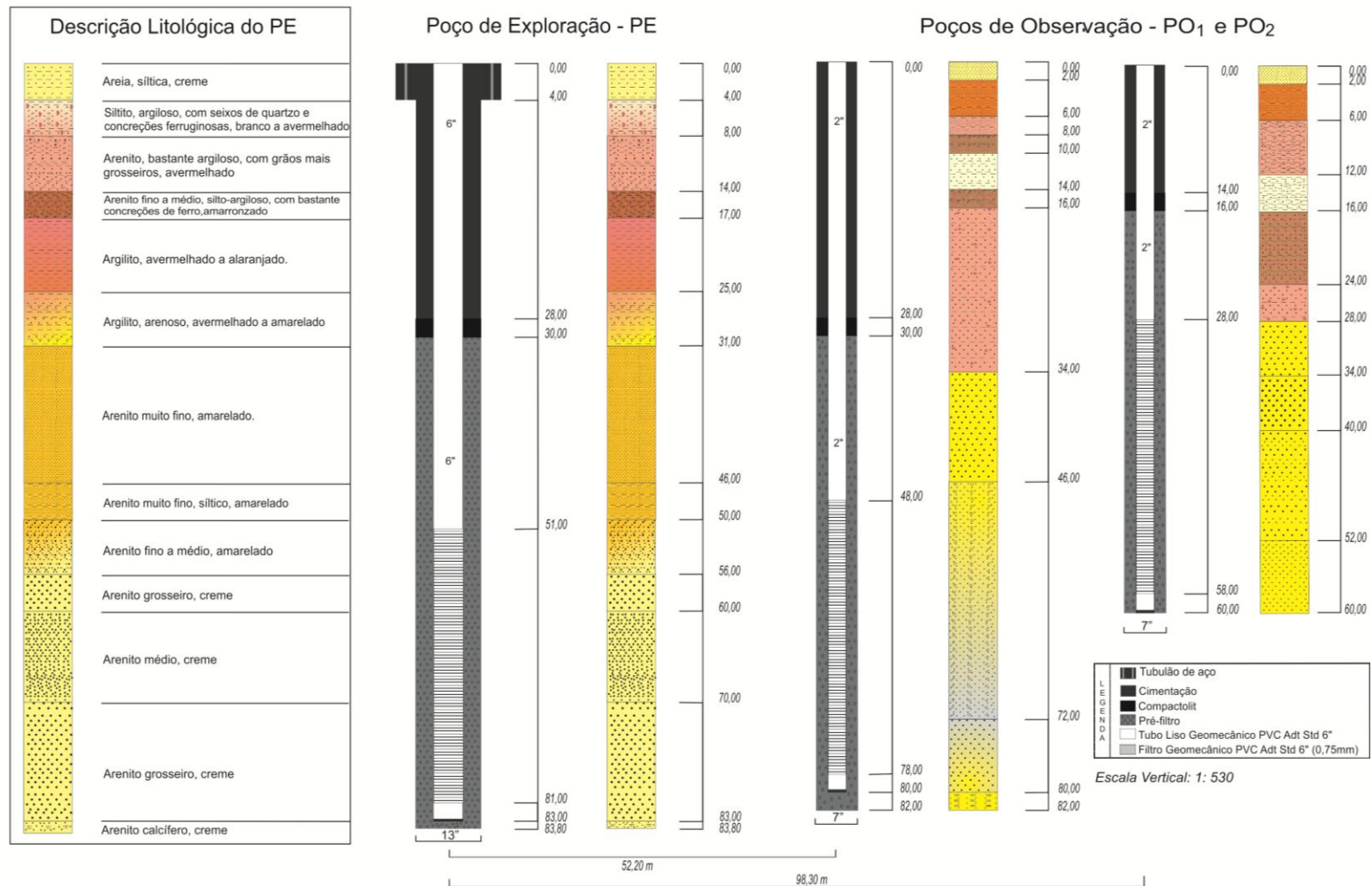


Figura 6.10. Perfil geológico esquemático do PE e dos poços de observação PO-01 e 02 de Ceará-Mirim - Faz. São Mateus

6.3 Extremoz – Granja Confiança (Loteamento Caminho do Mar)

A **Figura 6.11** apresenta a configuração dos poços de exploração e observação perfurados e pré-existentes no Loteamento Caminho do Mar, no município de Extremoz.



Figura 6.11. Croqui de localização dos poços perfurados e pré-existentes em Extremoz – Loteamento Caminho do Mar

POÇO EXPLORATÓRIO (PE)

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

Município: Extremoz

Bairro/Distrito: Loteamento Caminho do Mar

Endereço: Granja Confiança, lotes 09, 10, 19 e 20 do Lot. Caminho do Mar

Proprietário: Agencia Nacional de Águas - ANA

Empresa perfuradora: PROSENG Projetos e Serviços de Engenharia Ltda.

Bacia Hidrográfica: Rio Doce

Numero do poço no cadastro Servmar: EXT0274

Projetista: Mateus Delatim Simonato

Fiscalização: Tereza Cristina Campos Falcão/Rejanne Alves da S.França

Coordenadas UTM: 247583,762E/9372225,895N

Cota (m): 44,05 (terreno) / 44,43 (ranhura)

Tipo de poço: Tubular

Finalidade da perfuração: Estudos hidrológicos/exploratório

Uso da água: Exploratório

Estado do poço: Não equipado utilizável

Aquífero: Barreiras



Foto 12. PE Loteamento Caminho do Mar – Extremoz: acabamento construtivo e marca do nivelamento topográfico

II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Data início: 12/11/2011

Data término: 19/11/2011

Profundidade útil (m): 72

Diametros de perfuração:

0 a 6 = 419 mm (16 ½")

6 a 73 = 330 mm (13")

Método: Percussão

Fluidos:

Nada até 36 m

CMC de 36 até 73 m

Tubo de proteção sanitária

Profundidade (m): +0,1 a 6 m

Tipo de tubo: Aço preto com costura/espessura parede 3,18 mm

Cimentação: 0 a 6 m/volume 0,3 m³/traço: calda a 8% de bentonita

III – REVESTIMENTO

De (m)	A (m)	Diametro (mm)	Diametro (pol)	Material
+0,39	42	152	6	Geomecânico ¹
70	72	152	6	Geomecânico ¹
TOTAL	44,39			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std.

IV – FILTROS

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
42	70	152	6	Geomecânico ¹
TOTAL	28			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std, abertura de 0,75 mm.

V – PRÉ-FILTRO

Tipo: Subangular

Granulometria: 1,00 a 3 mm

Fornecedor: GEMIL

Volume injetado: 5 m³

Cimentação: 0 a 34 m/volume 2,5 m³/traço: calda a 8% de bentonita

Vedação: Compactolit de 34 a 36 m



Foto 13. Aplicação do pré-filtro no PE utilizando tubo auxiliar

VI - PERFIL GEOLÓGICO

De (m)	A (m)	Descrição litológica macroscópica
0	2	Areia, síltica, avermelhada
2	20	Arenito fino, síltico, bastante argiloso, avermelhado
20	24	Arenito fino a médio, síltico, bastante argiloso, amarronzado
24	26	Arenito fino a médio, síltico, bastante argiloso, avermelhado
26	32	Arenito fino a médio, síltico, bastante argiloso, amarronzado
32	36	Argilito, avermelhado
36	42	Arenito fino, argiloso, branco a avermelhado
42	52	Arenito, muito fino, síltico, creme
52	62	Arenito fino, síltico, esbranquiçado
62	72	Arenito médio, cinza
72	73	Arenito calcífero, creme a avermelhado

VII – PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De (m)	A (m)	Formação Geológica
0	2	Cobertura Sedimentar
2	72	Barreiras
72	73	Rochas carbonáticas

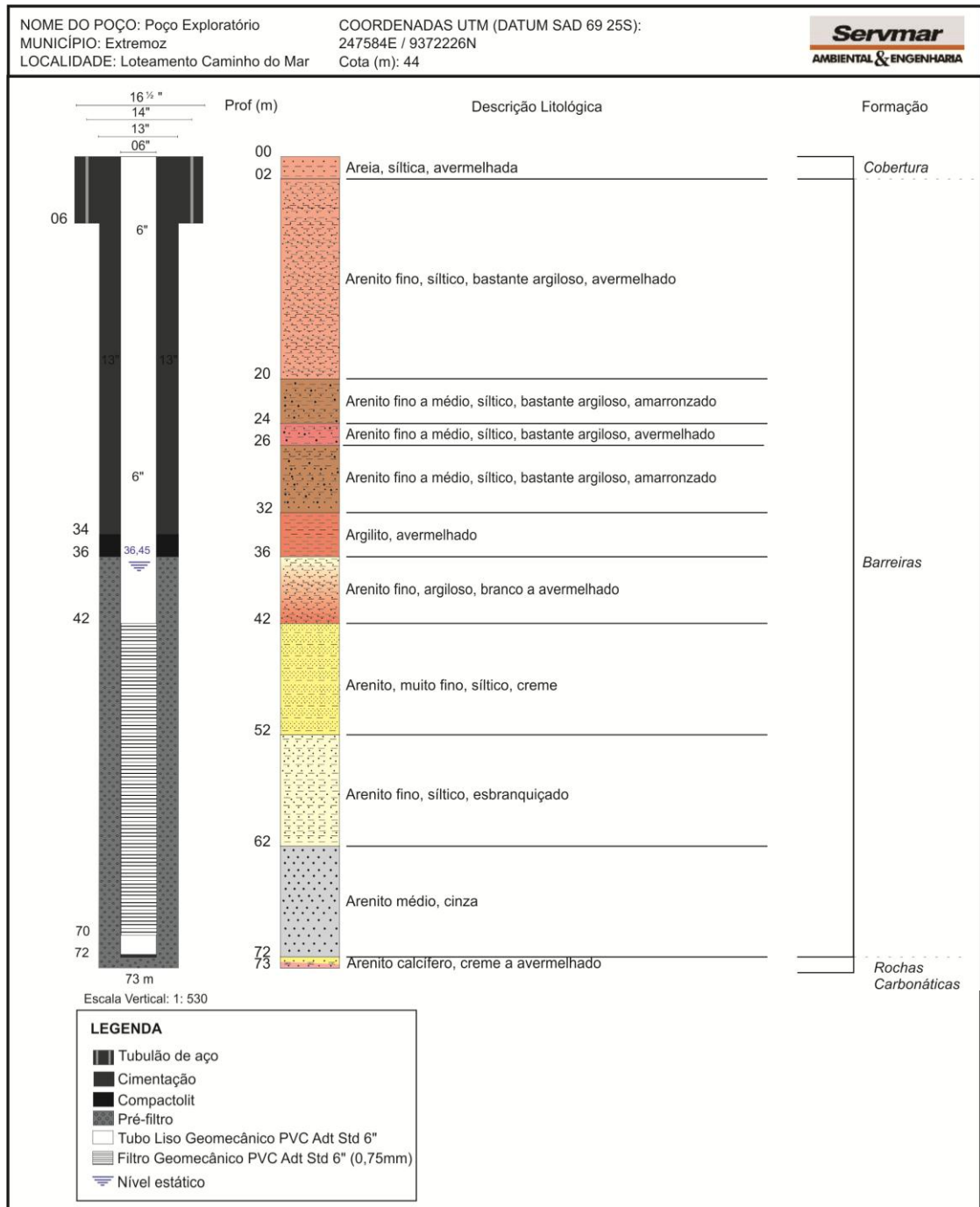


Figura 6.12. Perfil geológico e construtivo do PE do Lot. Caminho do Mar - Extremoz

POÇO DE OBSERVAÇÃO (PO-01)

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

Município: Extremoz

Bairro/Distrito: Loteamento Caminho do Mar

Endereço: Granja Confiança, lotes 09, 10, 19 e 20 do Lot. Caminho do Mar

Proprietário: Agencia Nacional de Águas - ANA

Empresa perfuradora: PROSENG Projetos e Serviços de Engenharia Ltda.

Bacia Hidrográfica: Rio Doce

Numero do poço no cadastro Servmar: EXT0275

Projetista: Mateus Delatim Simonato

Fiscalização: Tereza Cristina Campos Falcão/Rejanne Alves da S. França

Coordenadas UTM: 247607,058E/9372190,835N

Cota (m): 44,00 (terreno) / 44,41 (ranhura)

Tipo de poço: Tubular

Finalidade da perfuração: Estudos hidrogelógicos/ observação

Uso da água: Observação

Estado do poço: Não equipado utilizável

Aquífero: Barreiras



Foto 14. PO-01 Loteamento Caminho do Mar – Extremoz: acabamento construtivo e marca da ranhura do nivelamento topográfico

II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Data início: 12/11/2011

Data término: 17/11/2011

Profundidade (m): 74

Diametros de perfuração:

0 a 77 = 177,8 mm (7")

Método: Percussão

Fluido: CMC

Cimentação: 0 a 32 m/volume 0,6 m³/traço: calda a 8% de bentonita

III – REVESTIMENTO

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
+0,23	34	50	2	Geomecânico ¹
54	58	50	2	Geomecânico ¹
72	74	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	40,23			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std.

IV – FILTROS

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
34	54	50	2	Geomecânico ¹
58	72	50	2	Geomecânico ¹
TOTAL	34			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std, abertura de 0,75 mm.

V – PRÉ-FILTRO

Tipo: Subangular

Granulometria: 1,00 a 3 mm

Fornecedor: GEMIL

Volume injetado: 3 m³

Cimentação: 0 a 32 m/volume 0,6 m³/traço: calda a 8% de bentonita

Vedação: Compactolit de 32 a 34 m

VI - PERFIL GEOLÓGICO

De (m)	A (m)	Descrição litológica macroscópica
0	2	Areia fina, siltica, bastante argilosa, avermelhada
2	22	Arenito fino, bem selecionado, siltico-argiloso, alaranjado
22	26	Arenito fino, siltico, argiloso, com seixos de quartzo, avermelhado
26	28	Arenito a cascalho, com seixos de quartzo de até 1 cm, branco
28	30	Arenito fino a médio, siltico-argiloso, alaranjado
30	34	Argilito, arenoso, alaranjado até 32m e branco a vermelho até 34 m
34	54	Arenito fino a médio, siltico- argiloso, creme
54	58	Arenito fino a médio, argiloso, creme
58	68	Arenito fino a médio, siltico-argiloso, amarelado
68	72	Arenito fino a médio, siltico-argiloso, acizentado
72	75	Arenito, argiloso, acizentado
75	77	Arenito calcífero, esverdeado

VII – PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De (m)	A (m)	Formação geológica
0	2	Cobertura Sedimentar
2	75	Barreiras
75	77	Rochas carbonáticas

NOME DO POÇO: PO-01
 MUNICÍPIO: Extremoz
 LOCALIDADE: Loteamento Caminho do Mar

COORDENADAS UTM (DATUM SAD 69 25S):
 247578N / 9372127E
 Cota (m): 44,53

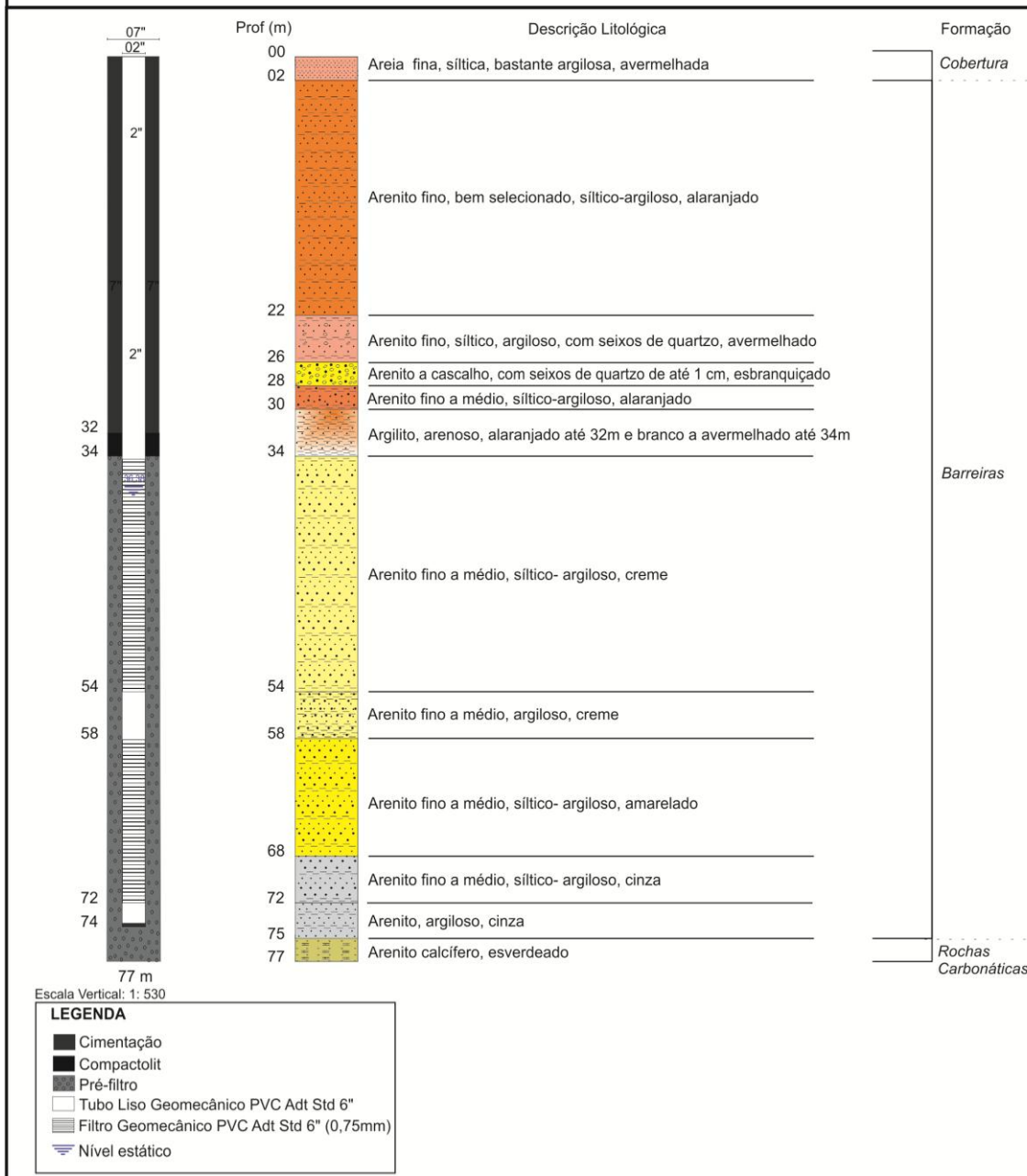


Figura 6.13. Perfil geológico e construtivo do PO-01 do Loteamento Caminho do Mar - Extremoz

POÇO EXISTENTE (PO-02) - GRANJA CONFIANÇA

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

Município: Extremoz

Bairro/Distrito: Loteamento Caminho do Mar

Endereço: Granja Confiança- lote 09 do Loteamento Caminho do Mar

Proprietário: Fundação Estadual de Planejamento e Agricultura do RN.

Empresa perfuradora: DNOCS

Bacia Hidrográfica: Rio Doce

Numero do poço no cadastro Servmar: EXT0273

Projetista: José Alves Filho

Coordenadas UTM: 247578,356E/9372126,986N

Cota (m): 44,53 (terreno) / 44,61 (ranhura)

Tipo de poço: Tubular

Finalidade da perfuração:

Uso da água: Abastecimento / Consumo humano

Estado do poço: Equipado utilizável

Aquífero: Barreiras



Foto 15. PO-02 Loteamento Caminho do Mar – Extremoz: poço existente utilizado como poço de observação e marca da ranhura do nivelamento topográfico

II – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Data início: 27/07/1990

Data término: 24/08/1990

Profundidade (m): 60

Diametros de perfuração:

0 a 60 = 254 mm (10")

Método: Percussão

III – REVESTIMENTO

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
+0,25	36	152	6	Geomecânico ¹
52	60	152	6	Geomecânico ¹
TOTAL	44,25			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std.

IV – FILTROS

De (m)	A (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)	Material
36	52	152	6	Geomecânico ¹
TOTAL	16			

1: Tubo geomecânico nervurado, tipo PVC std, abertura de 0,75 mm.

V – PRÉ-FILTRO

Tipo: Não informado

Granulometria: Não informado

Fornecedor: Não informado

Volume injetado: Não informado

Cimentação: Não informado

Vedação: Não informado

VI - PERFIL GEOLÓGICO

De (m)	A (m)	Descrição litológica macroscópica
0	1	Areia média
1	20	Argila arenosa
20	26	Argila com seixos
26	60	Arenito

VII – PERFIL ESTRATIGRÁFICO

De (m)	A (m)	Formação geológica
0	1	Cobertura Sedimentar
1	60	Barreiras

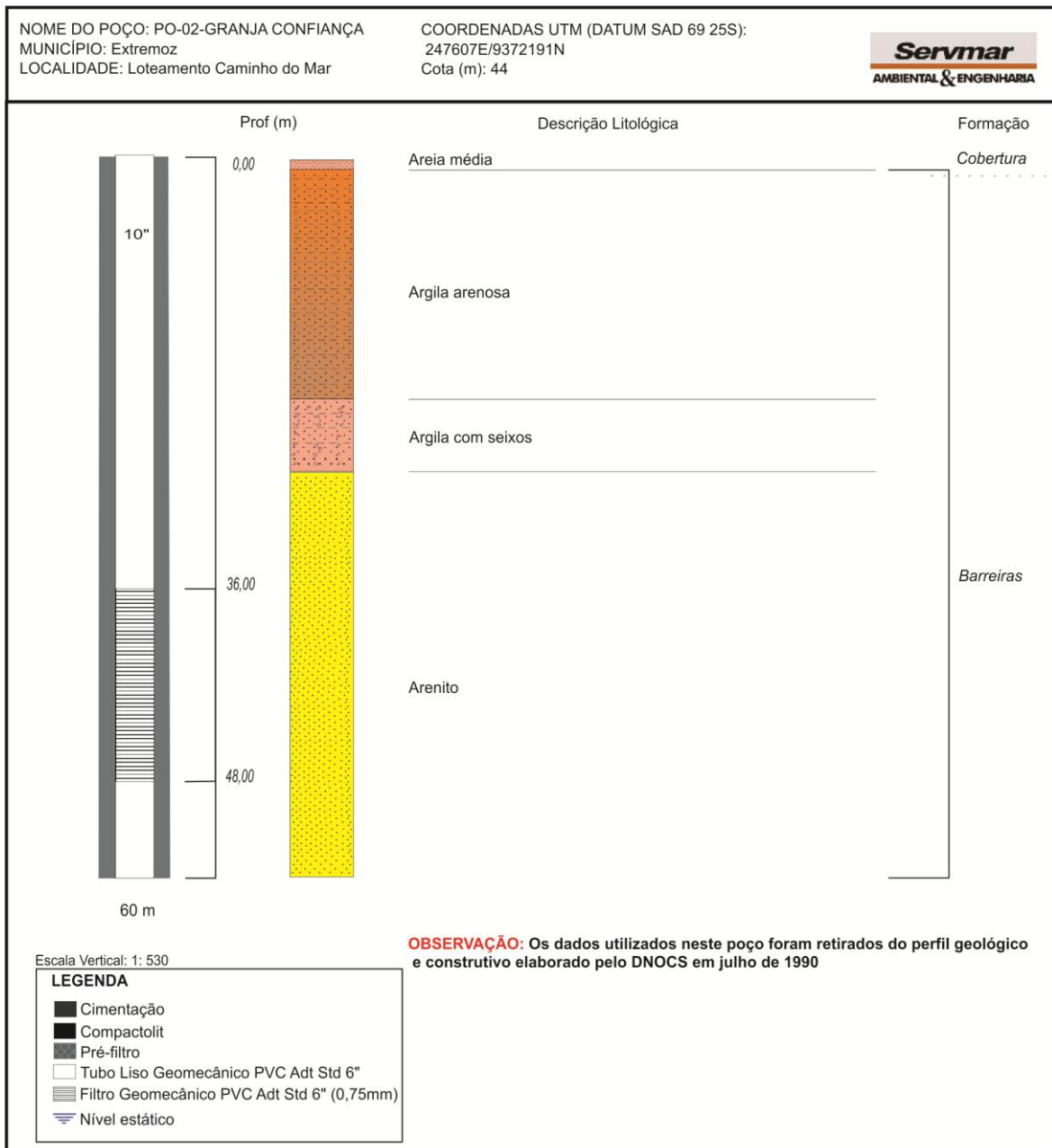


Figura 6.14. Perfil geológico e construtivo do existente na Granja Confiança (PO-02)

Com a finalidade de ilustrar a variação litológica entre os poços, a **Figura 6.15** foi elaborada apresentando perfil esquemático em escala aproximada para visualizar as diferenciações entre o poço exploratório e os poços de observação.

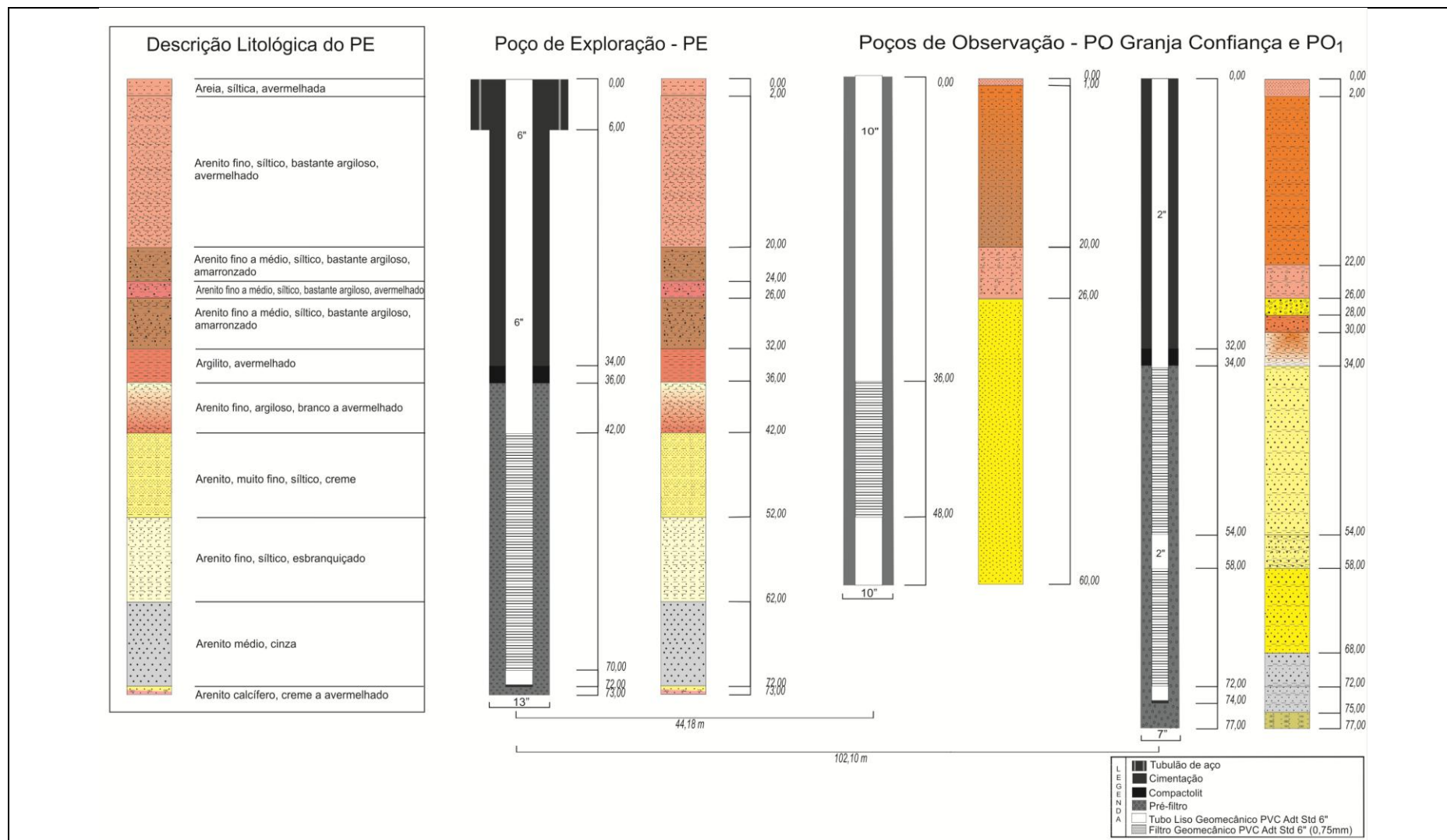


Figura 6.15. Perfil geológico esquemático do PE do PO-01 e 02 (Granja Confiança) do Lot. Caminho do Mar - Extremoz

7 TESTES DE AQUÍFERO

Os testes de aquífero para a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras foram executados nos dispositivos descritos no capítulo anterior, compostos por um poço exploratório e dois poços de observação, denominados de teste 1 (Nísia Floresta), teste 2 (Ceará-Mirim) e teste 3 (Extremoz), conforme ilustrado na **Figura 7.1**.

Os testes de aquífero foram realizados através do bombeamento contínuo do poço exploratório, com vazão constante, pelo período de 48 horas, e as descargas de água foram aferidas utilizando-se o sistema de recipiente calibrado, com tambor de 215 L (**Foto 17**). Para o bombeamento dos poços foram utilizadas bombas submersas de 6 CV nos testes 1 (Nísia Floresta) e 2 (Ceará-Mirim) e de 2 CV no teste 3 (Extremoz).



Foto 16. Medição de vazão dos testes de aquífero com tambor aferido 215 L

Os rebaixamentos provocados pelo bombeamento no poço exploratório e nos dois poços de observação foram registrados com a utilização de medidores eletrônicos de detecção do nível de água (**Fotos 18 e 19**), com aviso sonoro e luminoso, dotado de fita inextensível e numerada com resolução milimétrica e gravação indelével. Imediatamente após encerrado os bombeamentos, a recuperação dos níveis da água nos poços foram registradas até que se atingisse o nível estático observado antes do início dos testes ou ocorresse a recuperação de pelo menos 90% do rebaixamento.

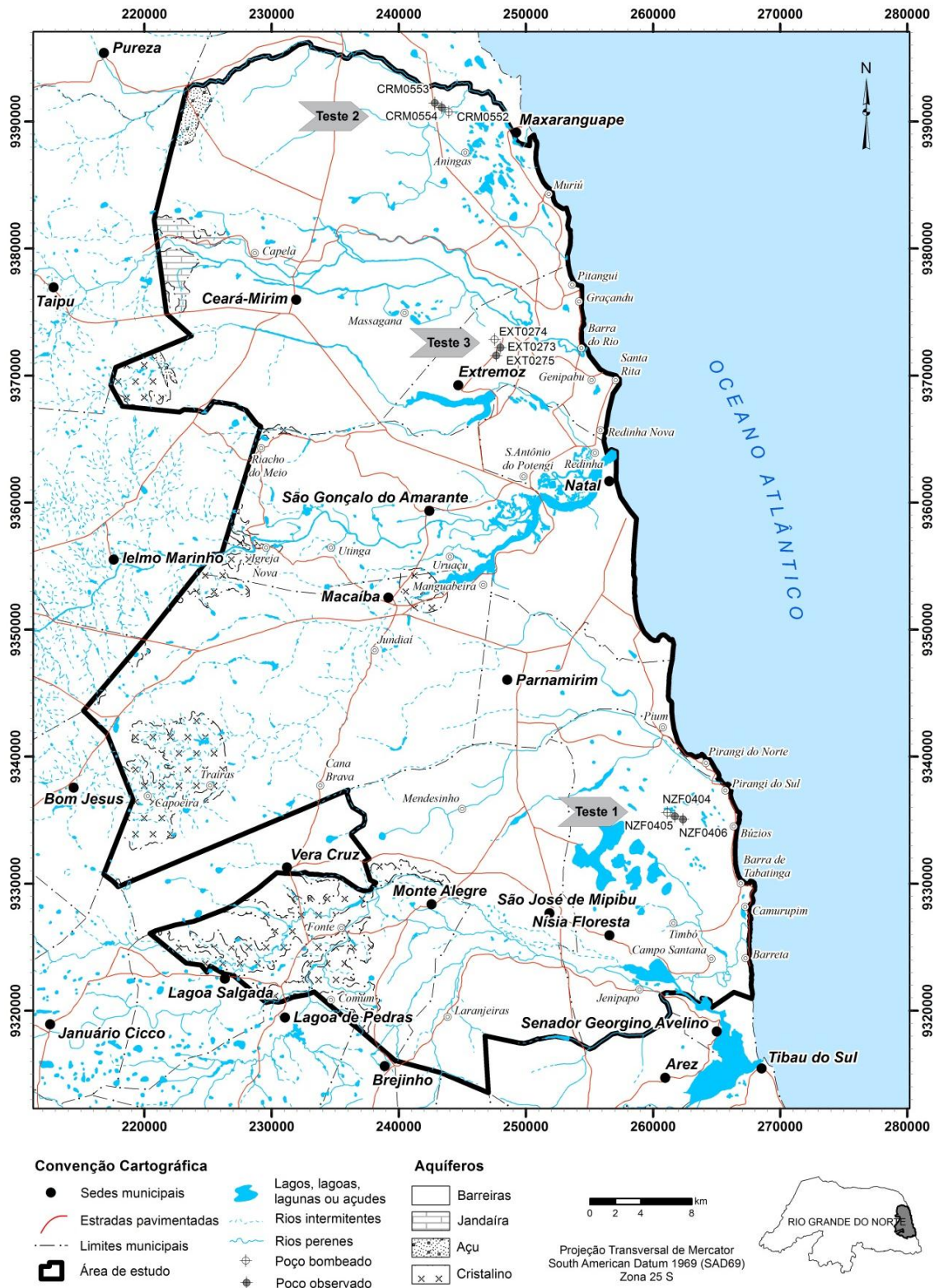


Figura 7.1. Localização dos testes de aquífero executados na RMN

Os testes de aquífero foram interpretados com a utilização do software *AquiferTest* da Schlumberger, determinando-se os parâmetros de transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento.



Foto 17. Medição do nível de água no PE do teste 3



Foto 18. Medição do nível de água no PO-01 do teste 3

A **Tabela 7.1** apresenta um resumo das informações dos testes executados. Os dados obtidos em campo contendo localização e coordenadas dos poços testados, cota topográfica, data e hora de início e término dos ensaios, os dados dos tempos e níveis dinâmicos correspondentes e dos rebaixamentos residuais da recuperação são apresentados na íntegra no **Apêndice D**.

Tabela 7.1. Resumo das informações dos testes de aquífero executados na RMN

	Localidade	PE	PO	r (m)	PROF (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m ³ /h)	Tb (min)	Q/s (m ³ /h/m)
Teste 1	Lagoa Amarela (Nísia Floresta)	NZF0404		-	104	1,39	14,66	13,27	14,86	2.880	1,12
			PO-01 (NZF0405)	65,0	105	1,95	2,61	0,66	-	-	-
			PO-02 (NZF0406)	114,8	60	1,45	1,50	0,05	-	-	-
Teste 2	Fazenda São Mateus (Ceará-Mirim)	CRM0552		-	83	12,49	17,96	5,47	15,09	2.880	2,76
			PO-01 (CRM0553)	52,2	80	12,90	13,78	0,48	-	-	-
			PO-02 (CRM0554)	98,3	60	13,56	13,66	0,10	-	-	-
Teste 3	Loteamento Caminho do Mar (Extremoz)	EXT0274		-	72	35,45	38,90	3,45	0,9	2.880	0,26
			PO-01 (EXT0275)	102,1	74	35,36	35,40	0,04	-	-	-
			PO-02 (EXT0273)	44,2	60	35,19	35,25	0,06	-	-	-

PE: poço exploratório bombeado; PO: poço observado; r: distância do poço observado ao poço bombeado; Prof.: profundidade; NE: nível estático; ND: nível dinâmico; s: rebaixamento; Q: vazão; Tb: tempo de bombeamento; Q/s: Vazão específica.

Antes do início dos testes de aquífero efetuou-se, em cada um dos conjuntos, o monitoramento do nível d'água nos poços exploratórios e de observação, por um período de 24 horas, a fim de se verificar a ocorrência de possíveis oscilações, devido tanto a fatores de ordem natural como antrópico. Os dados de campo desse monitoramento encontram-se, na íntegra, no **Apêndice D**.

Nos poços do entorno da lagoa Amarela, em Nísia Floresta (teste 1), foi verificada uma pequena tendência de queda dos níveis entre o início e o final das medições (de no máximo 0,03 m no PE) durante todo o monitoramento (**Figura 7.2**), a qual provavelmente está associada a fatores naturais, já que não foram identificados poços operando próximo ao local do teste. Provavelmente essa queda se deve principalmente a influência climatológica, já que também foi verificada queda dos níveis da lagoa Amarela entre o período em que foram instalados os poços até a execução dos testes. Entretanto, é necessário um período de monitoramento maior que o realizado para que se possa avaliar melhor se essa queda está associada ao período de estiagem. A variação da pressão atmosférica e a influência da maré são outros fatores naturais que podem ter contribuído para a oscilação do nível d'água verificada nesses poços. Como a variação observada no período foi muito pequena, os dados dos testes foram avaliados sem levar em consideração esses fatores.

Na Fazenda São Mateus, em Ceará-Mirim (teste 2), o monitoramento do nível d'água indicou variações abruptas dos níveis d'água nos poços, principalmente do PO-01 (**Figura 7.3**), as quais podem estar associadas a superposição de fatores naturais (variação de pressão e/ou variação de maré) e possível influência de fatores antrópicos, associado a bombeamento de poços no entorno do local. Ressalva-se que o sítio do teste está situado na zona rural do município e não foram identificados poços próximos ao sítio do teste. Como as oscilações constatadas foram pequenas, de no máximo 0,03 m, essas flutuações foram desconsideradas na interpretação dos resultados do teste.

No local do teste 3, Loteamento Caminho do Mar em Extremoz, foram monitorados os níveis d'água do PE e do PO-01, os quais também indicaram a ocorrência de flutuações abruptas dos níveis d'água, de até 0,04 m (**Figura 7.4**), provavelmente associadas a superposição de fatores naturais (variação de pressão e/ou variação de maré) com possível influência de fatores antrópicos, associado a bombeamento de poços no entorno do local, por se tratar de uma área urbana. Diante dessas incertezas e as pequenas oscilações constatadas, os resultados do teste de aquífero foram interpretados sem considerar esses fatores.

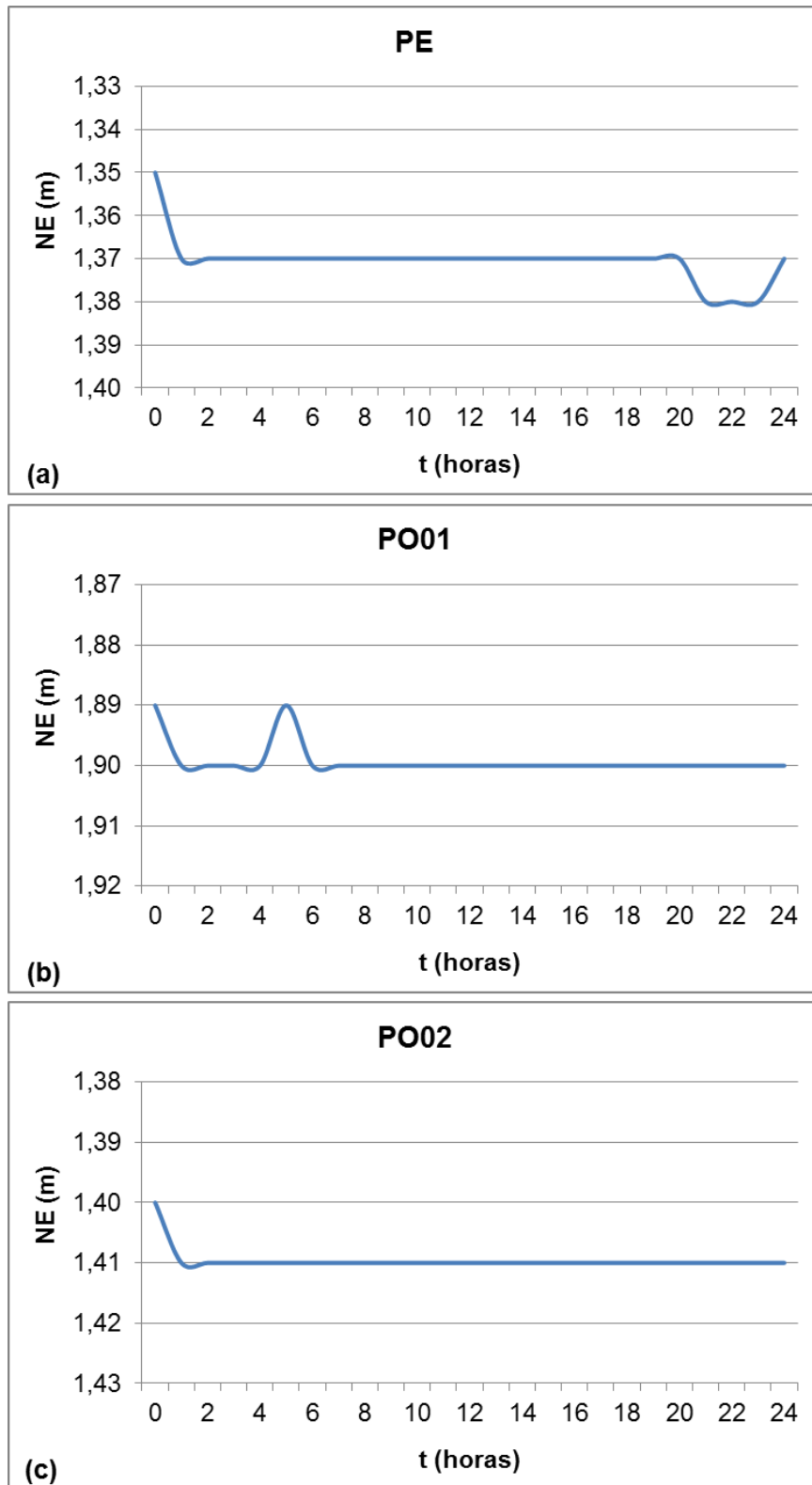


Figura 7.2. Monitoramento do nível d'água nos poços do teste 1, Lagoa Amarela/Nísia Floresta: (a) PE (NZF0404); (b) PO-01 (NZF0405); (c) PO-02 (NZF0406)

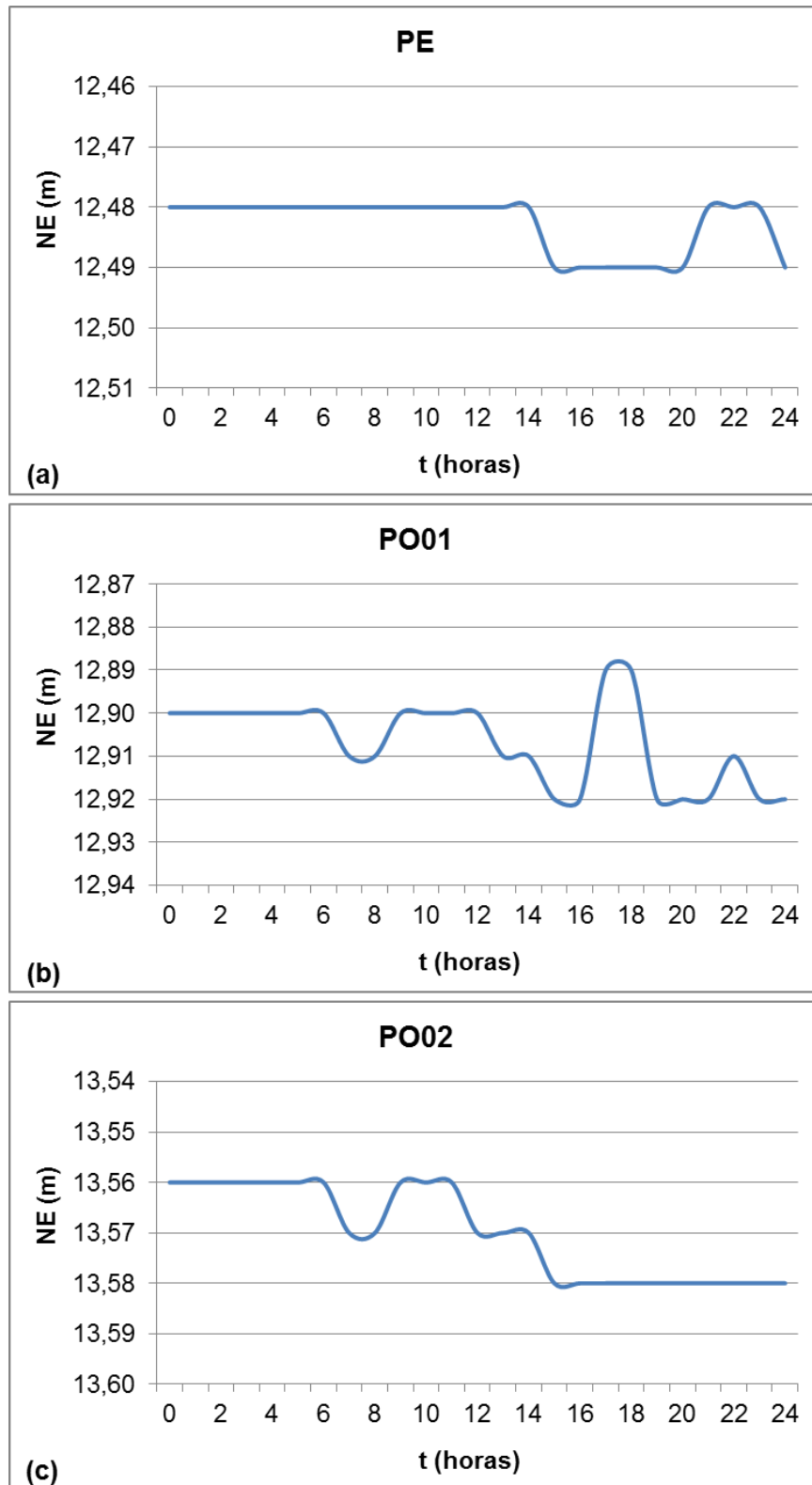


Figura 7.3. Monitoramento do nível d'água nos poços do teste 2, Fazenda São Mateus/Ceará-Mirim: (a) PE (CRM0552); (b) PO-01 (CRM0553); (c) PO-02 (CRM0554)

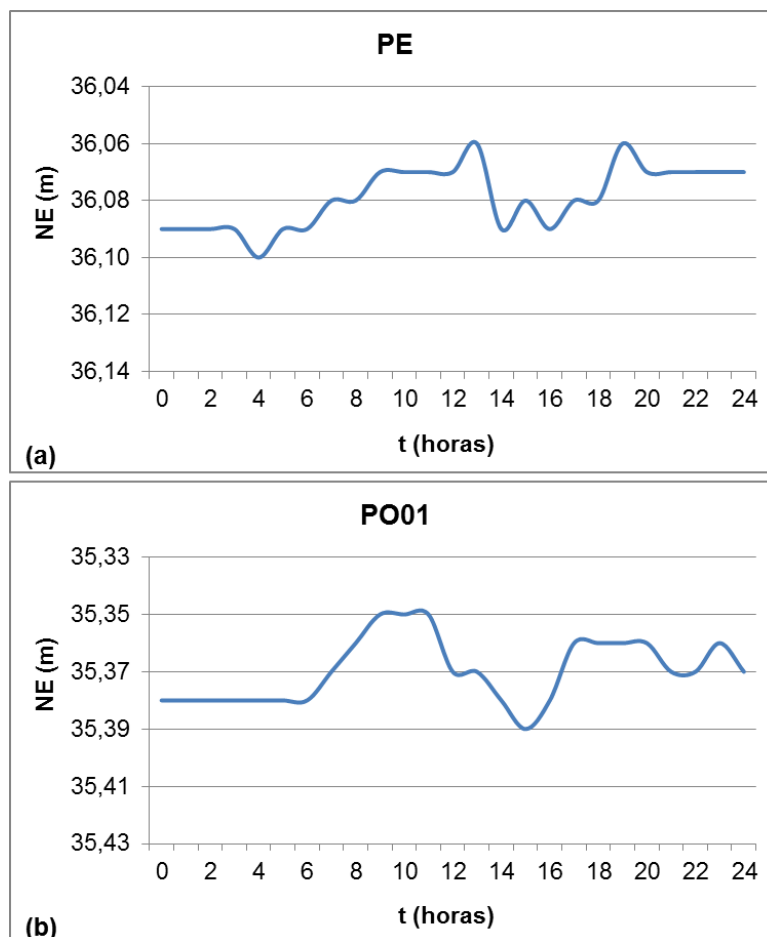


Figura 7.4. Monitoramento do nível d'água nos poços do teste 3, Loteamento Caminho do Mar/Extremoz: (a) PE (EXT0274); (b) PO-01 (EXT0275)

7.1 Teste de aquífero 1 – Lagoa Amarela (Nísia Floresta)

O teste 1 foi realizado no período entre 21 e 23 de novembro de 2011 e teve duração de 48 h. O PE (NZF0404) foi bombeado com bomba submersa a uma vazão média de 14,86 m³/h, com observação dos rebaixamentos dos níveis d'água no próprio poço bombeado e nos poços de observação NZF0405 (PO-01) e NZF0406 (PO-02), alinhados e distanciados de 65 m e 114,8 m do PE, respectivamente (**Figura 7.1**).

A correlação litológica entre os poços do teste 1 indica uma possível ocorrência de aquífero semiconfinado a confinado, com predomínio de sedimentos finos na porção superior (areno-argilosos) com cerca de 50 m de espessura, e de sedimentos com granulometria maior na porção inferior (**Figura 7.5**). A espessura média do SAB no local é de 106 m.

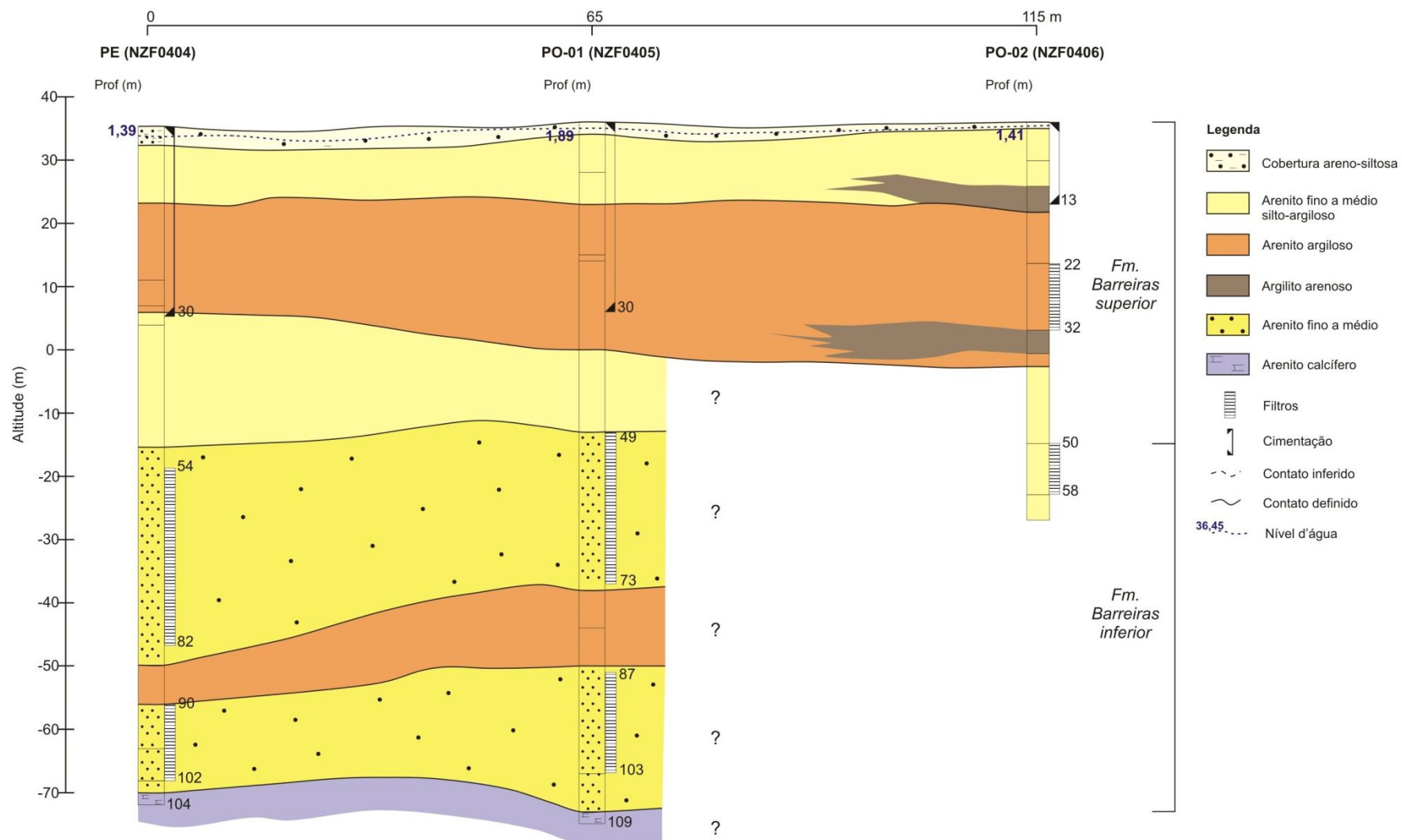


Figura 7.5. Correlação entre os poços do teste de aquífero 1 (Lagoa Amarela – Nisia Floresta)

O nível d'água no PO-01, inicialmente com 1,95 m começou a receber interferência do bombeamento decorridos três minutos após o início do teste e atingiu ao final do bombeamento 2,61 m, ou seja, teve um rebaixamento de 0,66 m, tendendo a estabilização (**Figura 7.6**). No PO-02 (NZF0406) os primeiros rebaixamentos do nível d'água foram observados após 50 minutos do início do teste com queda do nível de apenas 0,05 m no final do bombeamento (**Figura 7.6**), aparentemente sem tendência a estabilização. O rebaixamento no PE foi de 13,27 m, a partir do nível estático de 1,39 m e ao final das 48 horas de bombeamento encontrava-se com o nível dinâmico praticamente estabilizado (**Figura 7.6**).

Os rebaixamentos observados no PO-02, distanciado 114,8 m do PE, não foram suficientes para a caracterização da curva de rebaixamento por tempo de maneira que pudessem se interpretados e obtidos os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, sendo utilizado para a definição dos parâmetros hidrodinâmicos, portanto, apenas os dados referentes ao PO-01.

Depois de interrompido o bombeamento, a recuperação dos níveis d'água nos poços foi observada durante um período de 5 horas, tendo ficado um pequeno resíduo a recuperar.

Os dados de campo obtidos durante o teste foram inseridos no *AquiferTest*[®] da Schlumberger, onde foram geradas as curvas de rebaixamento por tempo. A configuração da curva de rebaixamento do PO-01 ajustou-se de maneira mais adequada as curvas propostas por Hantush e Jacob (1955) para aquíferos semiconfinados (**Figura 7.7**), cuja equação do fluxo é dada por:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{h K'}{T b'} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (13)$$

Onde:

h é o rebaixamento do nível d'água no poço observado;

r é a distância do poço observado para o poço bombeado;

t é o tempo de bombeamento;

K' é a condutividade hidráulica vertical da camada semiconfinante;

b' é a espessura da camada semiconfinante;

T é a transmissividade;

S é o coeficiente de armazenamento, dado por:

$$S = \frac{Q}{4 r T} \int_u^\infty \frac{1}{y} \exp\left(-y - \frac{r^2}{L^2 y}\right) dy \quad (14)$$

$$S = \frac{Q}{4 r T} W\left(u, \frac{r}{L}\right) \quad \text{onde, } u = \frac{r^2 S}{4 r T} \quad (15)$$

Segundo essa metodologia, os rebaixamentos observados nos poços de observação são plotados no gráfico log/log com a função $W(u,r/L)$ ao longo do eixo y e $1/u$ no eixo x.

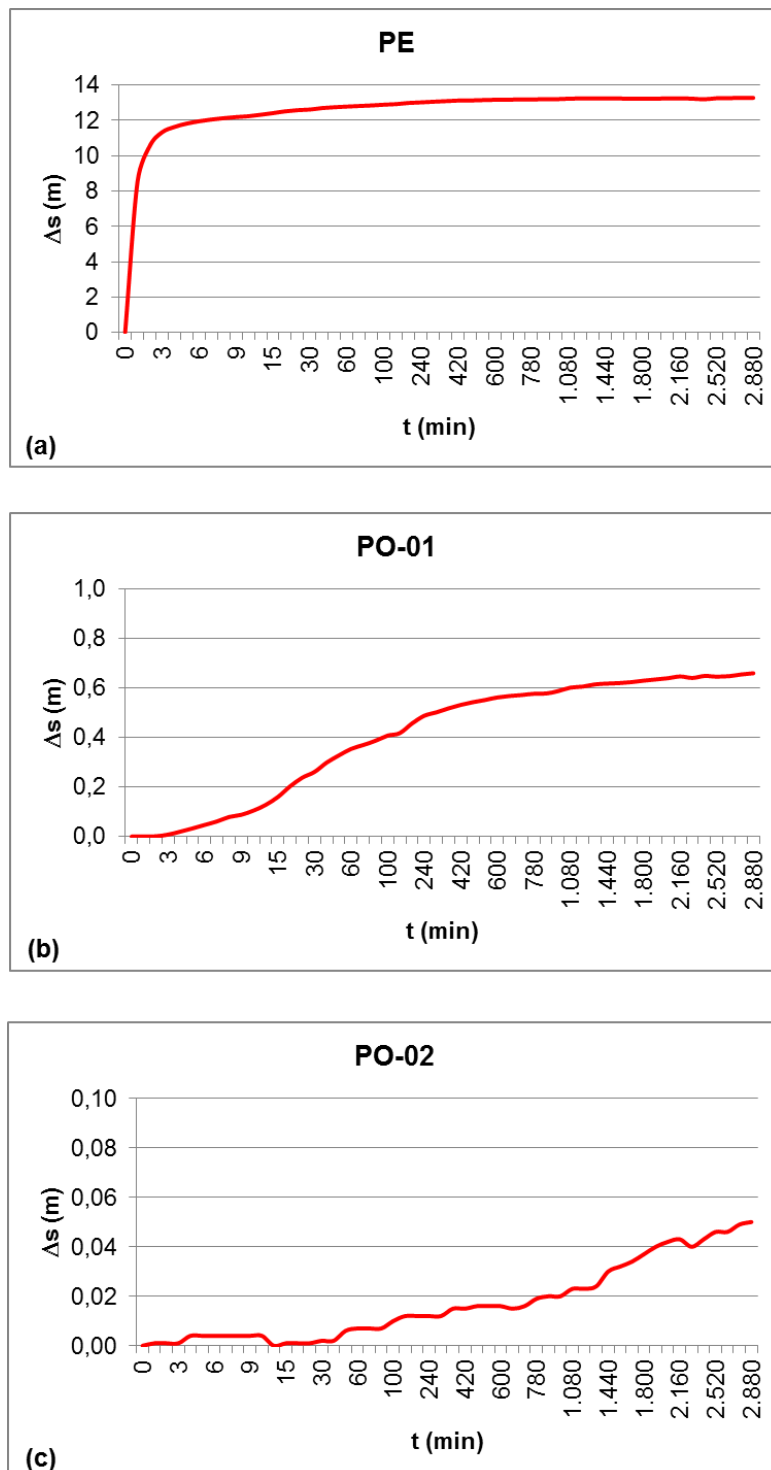
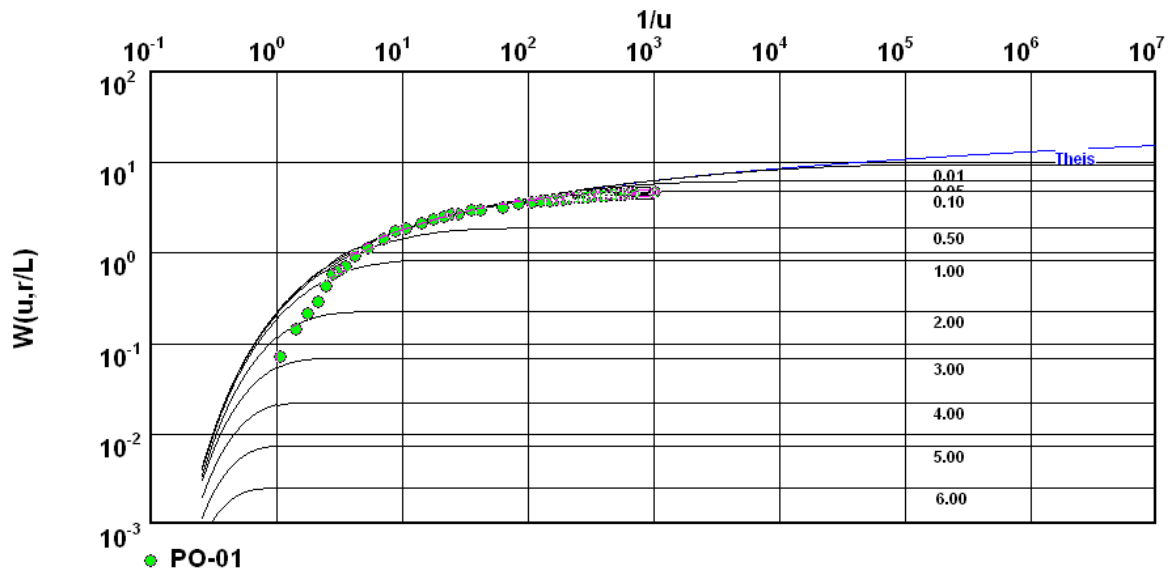


Figura 7.6. Curva de rebaixamento versus tempo no teste de aquífero 1: (a) PE (NZF0404); (b) PO-01 (NZF0405) e; (c) PO-02 (NZF0406)



Transmissividade [m^2/min]: $1,39 \times 10^{-1}$ Coef. armazenamento $3,72 \times 10^{-4}$

Condut. hidráulica (K) [m/min]: $2,68 \times 10^{-3}$

Figura 7.7. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-01 (NZF0405) no gráfico $W(u,r/L) \times 1/u$ para aquíferos semiconfinados

A curva 0,10 do gráfico foi a que melhor se ajustou aos dados dos rebaixamentos do PO-01 (**Figura 7.7**). Os correspondentes valores dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos foram os seguintes:

Transmissividade (T): $1,39 \times 10^{-1} m^2/min$, ou $2,32 \times 10^{-1} cm^2/s$;

Condutividade hidráulica do aquífero (K): $2,68 \times 10^{-3} m/min$ ou $4,46 \times 10^{-3} cm/s$;

Coeficiente de armazenamento (S): $3,72 \times 10^{-4}$ (adm)

Os resultados obtidos corroboram com a hipótese de um aquífero semiconfinado no sítio do teste 1 onde a porção superior do aquífero, constituída predominantemente por sedimentos areno-argilosos, atua como uma camada semiconfinante, a qual provavelmente oferece uma resistência hidráulica relativamente maior à passagem do fluxo de água para a porção inferior, composta predominantemente por sedimentos arenosos fino a médio. Dessa maneira, os parâmetros hidrodinâmicos obtidos são representativos da porção inferior, predominantemente arenosa, com espessura saturada média de 52 m no local do teste.

Utilizando a vazão específica de $1,12 m^3/h/m$ e admitindo-se a possibilidade de rebaixamento de 50 m do NE, a vazão máxima para poços instalados nesse local é estimada em $56 m^3/h$.

7.2 Teste de aquífero 2 – Fazenda São Mateus (Ceará-Mirim)

O teste 2 foi realizado no período entre 24 e 26 de novembro de 2011 e teve duração de 48 h. O PE (CRM0552) foi bombeado com bomba submersa a uma vazão média de 15,09 m³/h, com observação dos rebaixamentos dos níveis d'água no próprio poço bombeado e nos poços de observação PO-01 (CRM0553) e PO-02(CRM0554), alinhados e distanciados de 52,2 m e 98,3 m do PE, respectivamente (**Figura 7.6**).

A correlação litológica entre os poços do teste 2 indica que a espessura do SAB no local é de aproximadamente 80 m, com predomínio de sedimentos finos areno-argilosos nos 30 m superiores e de sedimentos com granulometria maior (areia) na porção inferior (**Figura 7.8**), o que provavelmente resulta em uma condição de semiconfinamento a confinamento do aquífero nesse sítio.

O nível d'água no PO-01, inicialmente com 12,90 m começou a receber interferência do bombeamento imediatamente após o início do teste e atingiu ao final do bombeamento 13,78 m, com um rebaixamento da ordem de 0,48 m e tendendo a estabilização (**Figura 7.9**). No PO-02 os primeiros rebaixamentos do nível d'água foram observados após 6 minutos do início do teste com queda da ordem de 0,10 m ao final do bombeamento (**Figura 7.9**), aparentemente também com tendência a estabilizar. O rebaixamento no PE foi de 5,47 m, a partir do nível estático de 12,49 m e ao final das 48 horas de bombeamento encontrava-se com o nível dinâmico praticamente estabilizado (**Figura 7.9**).

Depois de interrompido o bombeamento, a recuperação dos níveis d'água nos poços foi observada durante um período de 5 horas, tendo ficado um pequeno resíduo a recuperar.

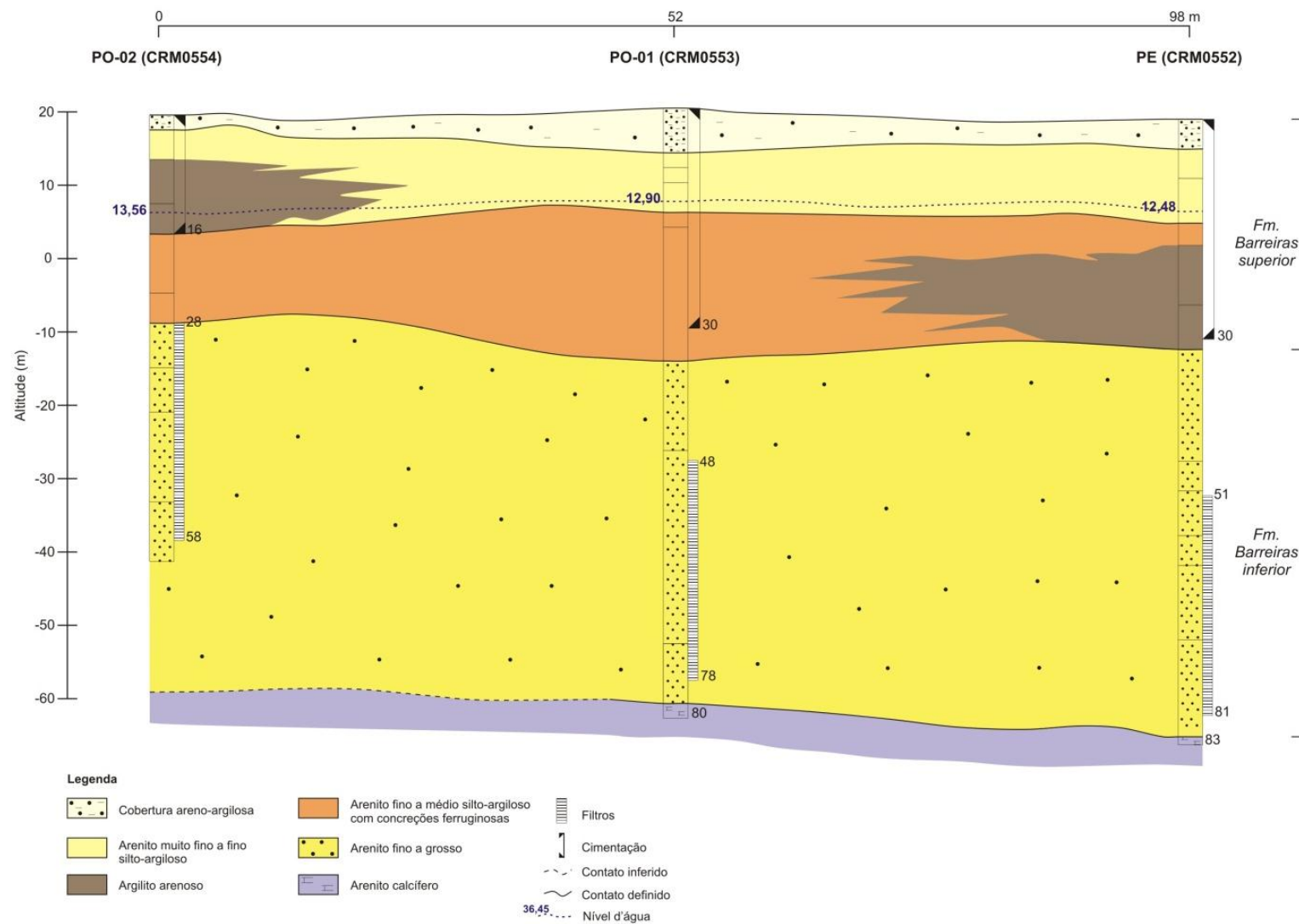


Figura 7.8. Correlação entre os poços do teste 2 (Faz. São Mateus – Ceará-Mirim)

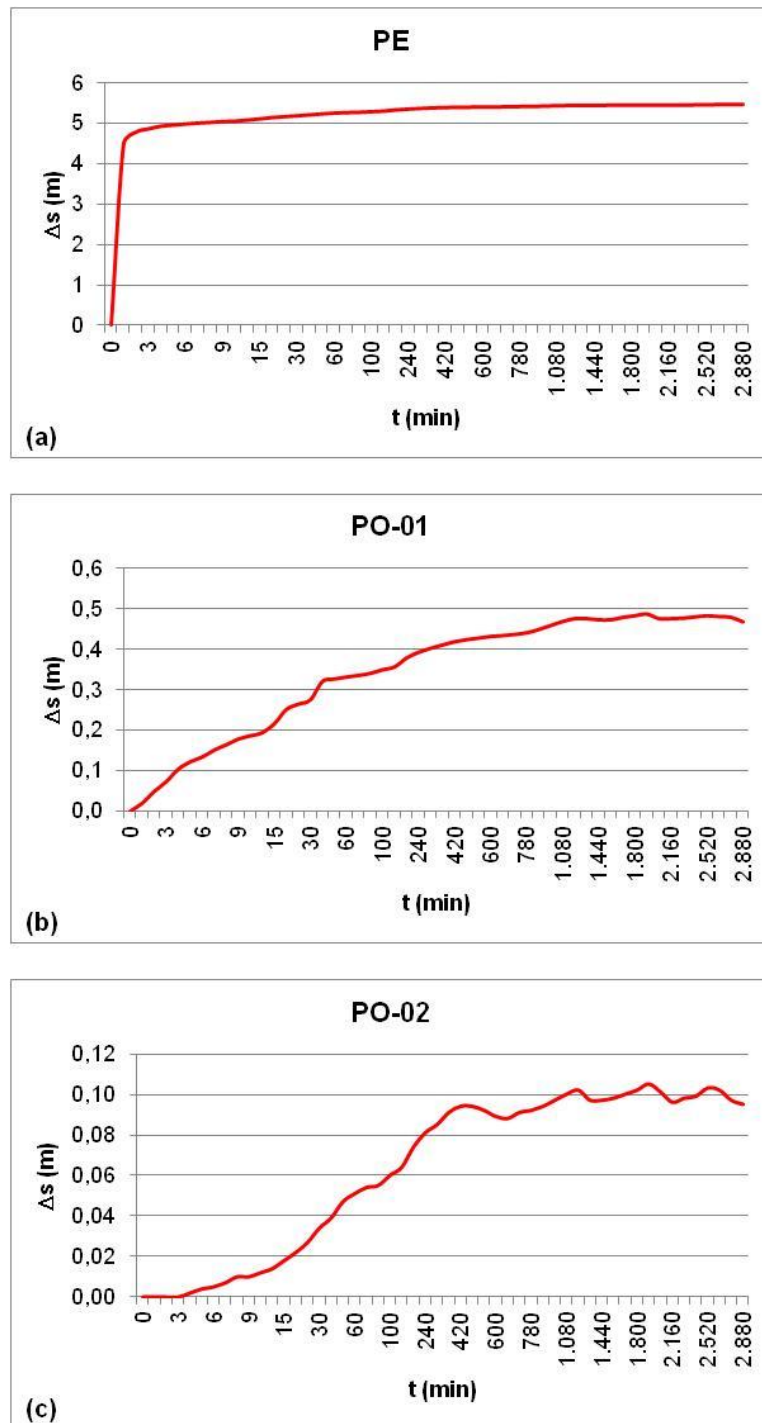
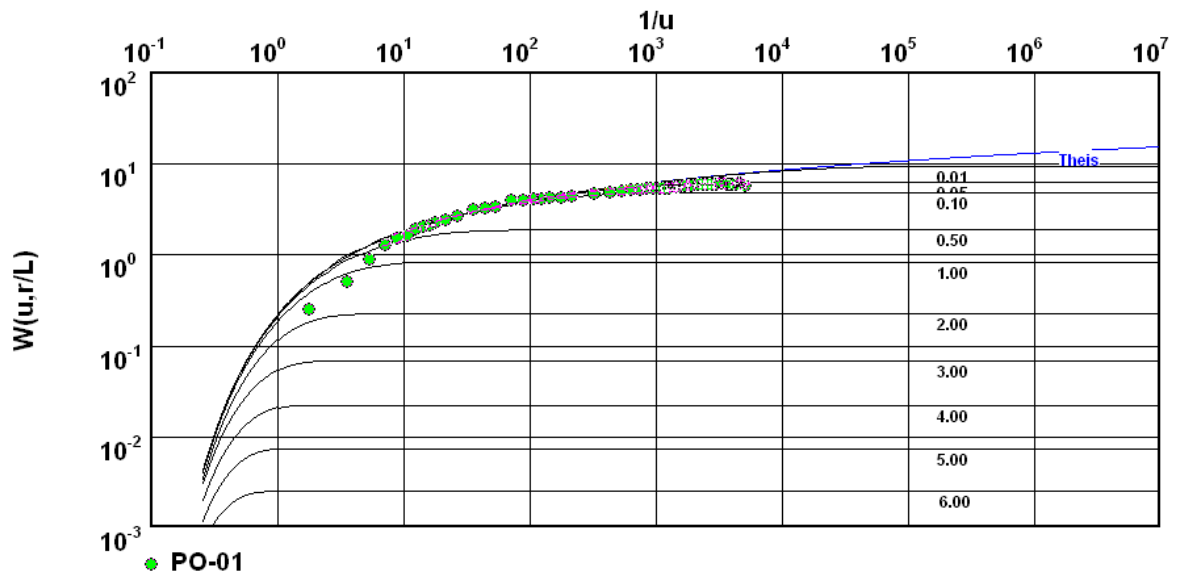


Figura 7.9. Curva de rebaixamento versus tempo do teste de aquífero 2: (a) PE (CRM0552); (b) PO-01 (CRM0553) e; (c) PO-02 (CRM0554)

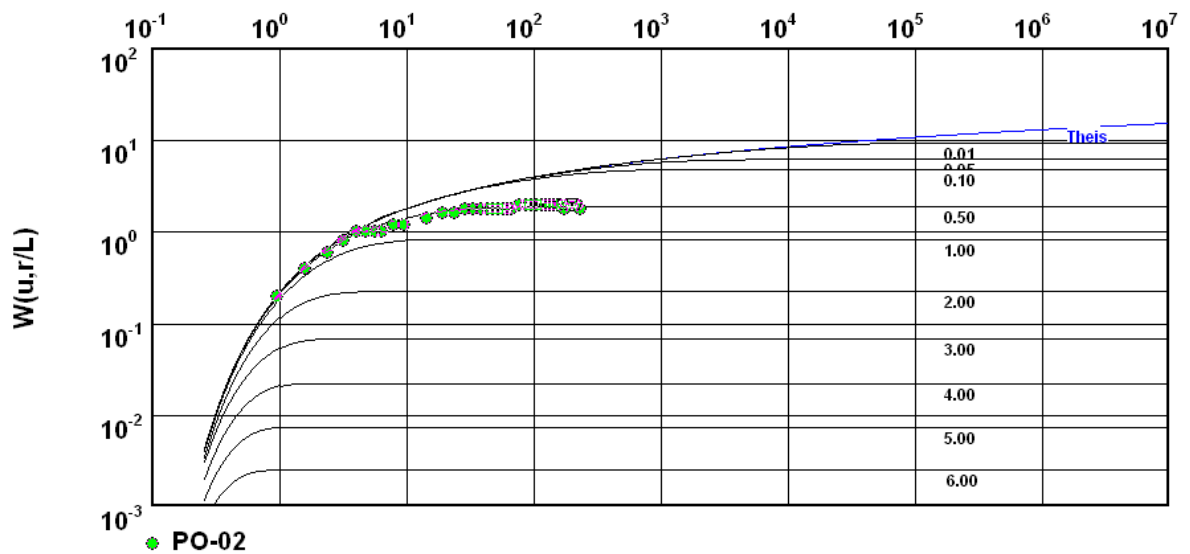
Os dados de campo obtidos durante o teste foram inseridos no *AquiferTest*[®] da Schlumberger, onde foram geradas as curvas de rebaixamento por tempo. A configuração da curva de rebaixamento do PO-01 e do PO-02 ajustaram-se de maneira mais adequada as curvas propostas por Hantush e Jacob (1955) para aquíferos semiconfinados (**Figuras 7.10 e 7.11**). As equações de fluxo definidas por essa metodologia foram discutidas no teste de aquífero 1 (Lagoa Amarela-Nísia Floresta).



Transmissividade [m^2/min]: $2,51 \times 10^{-1}$ Coef. armazenamento $2,07 \times 10^{-4}$

Condut. hidráulica (K) [m/min]: $4,84 \times 10^{-3}$

Figura 7.10. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-01 (CRM0553) no gráfico $W(u,r/L) \times 1/u$ para aquíferos semiconfinados



Transmissividade [m^2/min]: $3,99 \times 10^{-1}$ Coef. armazenamento $2,08 \times 10^{-3}$

Condut. hidráulica (K) [m/min]: $7,67 \times 10^{-3}$

Figura 7.11. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-02 (CRM0554) no gráfico $W(u,r/L) \times 1/u$ para aquíferos semiconfinados

Para o PO-01 a curva de 0,05 do gráfico foi a que melhor se ajustou aos dados do rebaixamento, sendo obtidos os seguintes valores para os parâmetros hidrodinâmicos:

Transmissividade (T): $2,51 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{min}$, ou $4,18 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{s}$;
Condutividade hidráulica do aquífero (K): $4,84 \times 10^{-3} \text{ m}/\text{min}$ ou $8,07 \times 10^{-3} \text{ cm}/\text{s}$;
Coeficiente de armazenamento (S): $2,07 \times 10^{-4}$ (adm)

Para o PO-02 a curva que melhor se ajustou foi a de 0,50 e os valores obtidos para os parâmetros hidrodinâmicos foram os seguintes:

Transmissividade (T): $3,99 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{min}$, ou $6,65 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{s}$;
Condutividade hidráulica do aquífero (K): $7,67 \times 10^{-3} \text{ m}/\text{min}$ ou $1,28 \times 10^{-2} \text{ cm}/\text{s}$;
Coeficiente de armazenamento (S): $2,08 \times 10^{-3}$ (adm)

Os resultados obtidos com base nos dados de ambos os poços de observação indicam a ocorrência de um aquífero semiconfinado no local do teste 2, em concordância com o cenário verificado no perfil litológico apresentado na **Figura 7.8**. Desta forma, assim como o que ocorreu no sítio do teste 1, a camada superior do SAB, constituída predominantemente por sedimentos finos areno-argilosos, com espessura de aproximadamente 30 m, oferece uma resistência hidráulica para o fluxo vertical descendente relativamente maior do que a resistência hidráulica da camada inferior, composta por sedimentos arenosos. Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos são representativos da camada inferior, a qual possui espessura média de 50 m.

As transmissividades obtidas apresentam variação de cerca de 60%, com o maior valor obtido no PO-02 ($T = 6,65 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{s}$) e o menor no PO-01 ($T = 4,18 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{s}$). Como a curva de rebaixamento versus tempo do PO-01 apresentou uma maior tendência de estabilização e, optando-se por adotar medidas conservadoras, admitiu-se para esse local a transmissividade obtida com base nos dados do PO-01. Frente a esse cenário, é importante que sejam executados novos testes de aquífero nesse local, preferencialmente com maior tempo de bombeamento, para que se possa avaliar melhor os parâmetros hidráulicos. Ressalva-se ainda que valores de transmissividade dessas ordens de grandeza para o SAB foram verificados em diversas áreas da RMN, como detalhadamente apresentado no Capítulo 12 deste relatório.

Com base na vazão específica de $2,76 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e admitindo-se a possibilidade de rebaixamento de 33 m do NE, a vazão máxima potencial para poços instalados nesse local é estimada em $90 \text{ m}^3/\text{h}$.

7.3 Teste de aquífero 3 – Loteamento Caminho do Mar (Extremoz)

O teste 3 foi realizado no período entre 25 e 27 de novembro de 2011 e teve duração de 48 h. O PE (EXT0274) foi bombeado com bomba submersa a uma vazão média de $0,90 \text{ m}^3/\text{h}$, com observação dos rebaixamentos dos níveis d'água no próprio poço bombeado e nos poços de observação PO-01 (EXT0275) e PO-02 (EXT0273), alinhados e distanciados de 102,1 m e 44,2 m do PE, respectivamente (**Figura 7.11**).

A correlação litológica entre o PE e o PO-01 do teste 3 indica que a espessura total do SAB no local é de aproximadamente 75 m, constituído predominantemente por arenitos finos a médios, argilosos (**Figura 7.12**). Diferentemente do que se observou nos sítios dos testes 1 e 2, na área do teste 3 o perfil litológico dos poços indicam a ocorrência de um aquífero do tipo livre ou não confinado, ou seja, seu limite superior é a própria superfície de saturação ou freática, a qual se encontra sob pressão atmosférica. A espessura saturada atribuída foi de 36 m para interpretação do teste. Optou-se por não utilizar o perfil litológico do PO-02 por este não ter sido perfurado neste projeto e, portanto, a descrição do perfil não possui o mesmo padrão que o desenvolvido nestes estudos.

O nível d'água no PO-01, inicialmente com 35,36 m começou a receber interferência do bombeamento após 5 horas do início do teste e atingiu, ao final do bombeamento, o nível mais baixo de 35,40 m, ou seja, uma queda do nível de apenas 0,04 m (**Figura 7.13**). Rebaixamentos dessa ordem foram verificados no monitoramento do NE antes da realização do teste e além disso, os níveis do PO-01 oscilaram muito durante o teste, dificultando a interpretação desses dados. Dessa maneira, não foi possível utilizar os dados do PO-01 para se obter os parâmetros hidráulicos do aquífero nesse local.

No PO-02 os primeiros rebaixamentos do nível d'água foram observados após 3 horas de teste. Assim como no PO-01, os rebaixamentos observados no PO-02 foram muito pequenos, da ordem de no máximo 0,06 m no final do teste (**Figura 7.13**) e sem tendência a estabilização. O rebaixamento no PE foi de 3,45 m, a partir do nível estático de 35,45 m e ao final das 48 horas de bombeamento encontrava-se com o nível dinâmico praticamente estabilizado (**Figura 7.13**).

Depois de interrompido o bombeamento, a recuperação dos níveis d'água nos poços foi observada durante um período de 5 horas, tendo ficado um pequeno resíduo a recuperar.

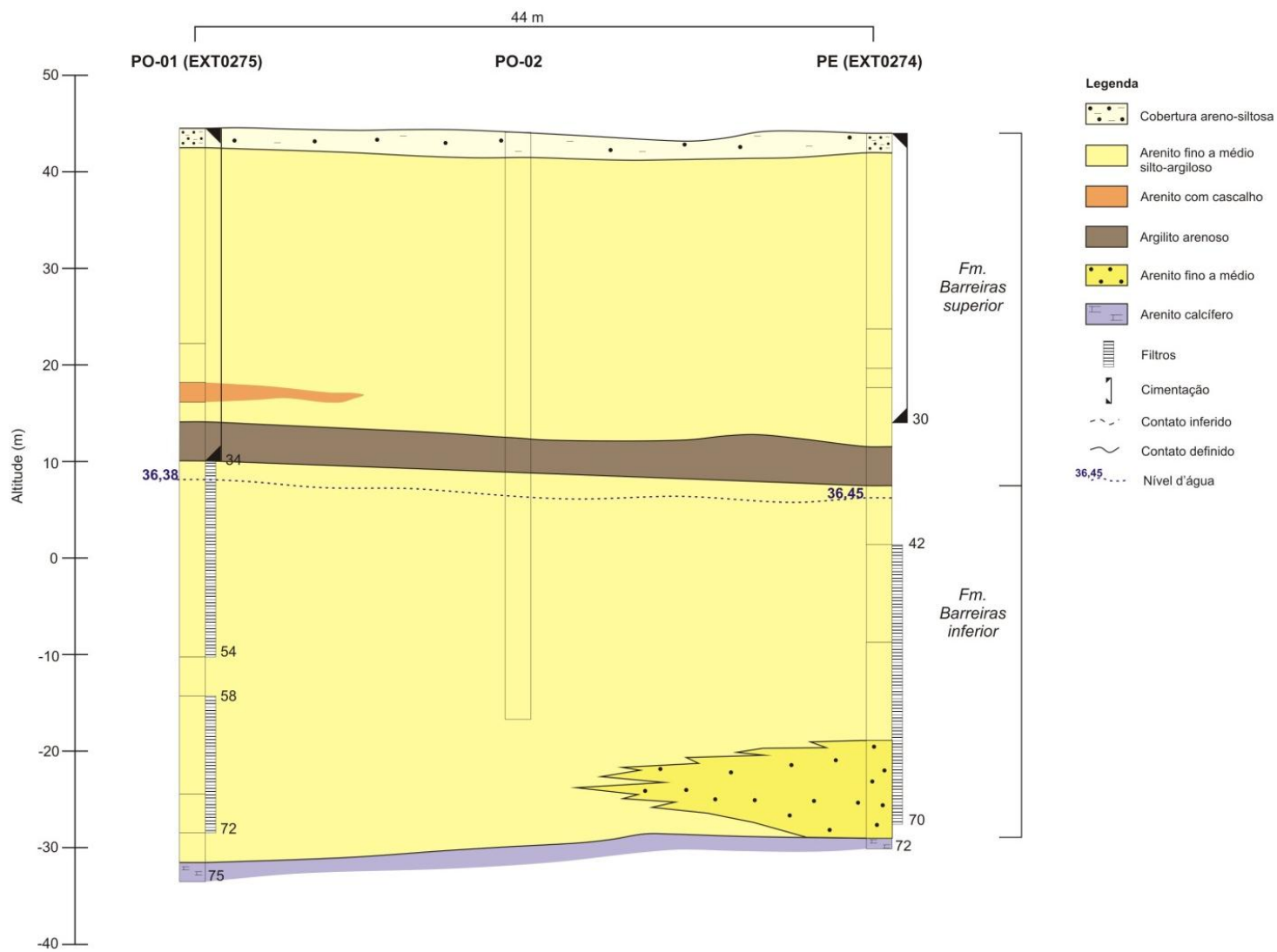


Figura 7.12. Correlação entre os poços do teste 3 (Loteamento Caminho do Mar – Extremoz)

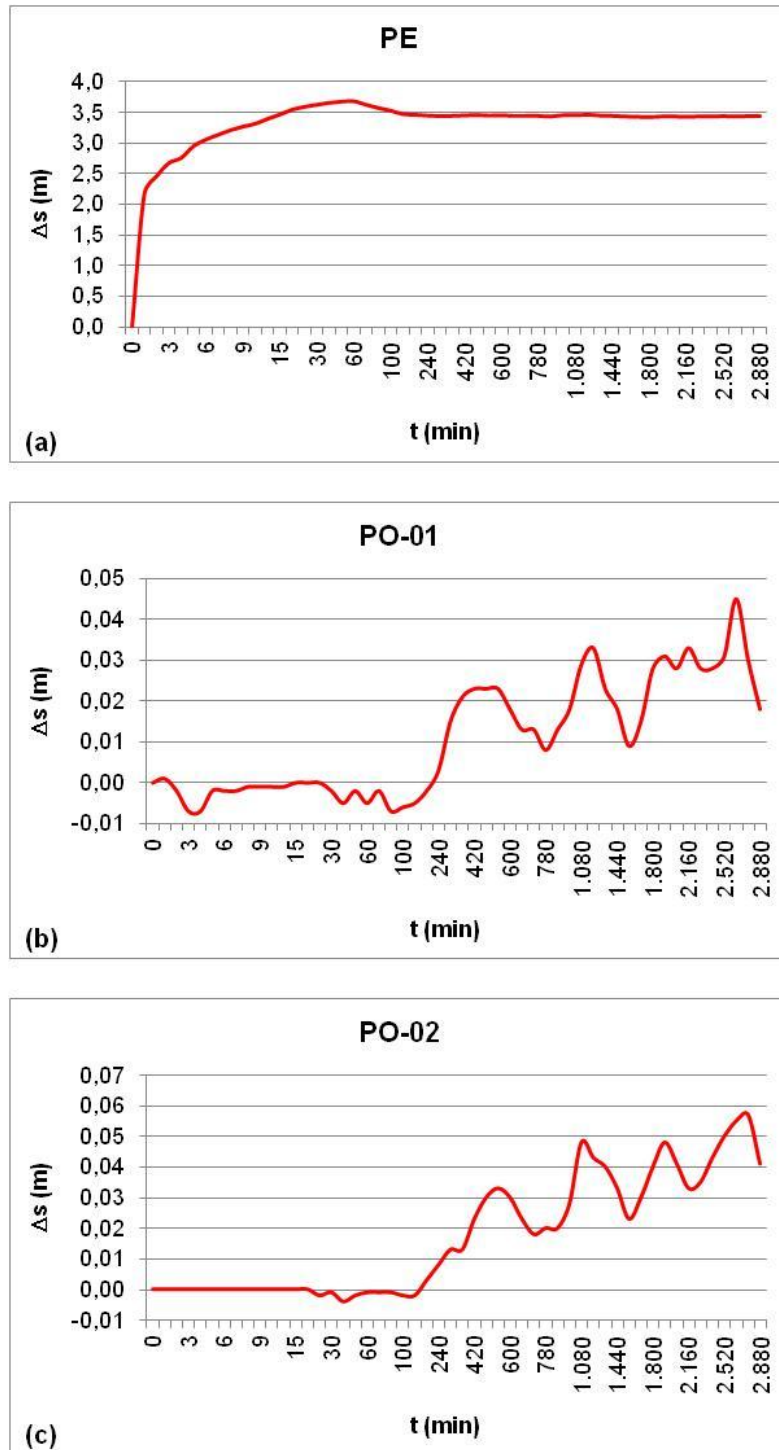


Figura 7.13. Curva de rebaixamento versus tempo do teste de aquífero 3: (a) PE (EXT0274); (b) PO-01 (EXT0275) e; (c) PO-02 (EXT0273)

Os dados de campo obtidos durante o teste foram inseridos no *AquiferTest*[®] da Schlumberger, onde foram geradas as curvas de rebaixamento por tempo. A configuração da curva de rebaixamento do PO-02 ajustou-se as curvas do gráfico proposto por Neuman (1972) para aquíferos livres (**Figura 7.14**). Ressalva-se que, devido ao pequeno rebaixamento e a oscilação do nível d'água no PO-02 foi necessário excluir alguns pontos para que a curva característica do rebaixamento

pudesse ser associada a uma curva do gráfico, obtendo-se dessa maneira os parâmetros hidráulicos do aquífero.

A fórmula de Neuman (1972) admite que o fluxo de água num aquífero livre durante o bombeamento é descrita da seguinte forma:

$$Kr \frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + K \frac{\partial h}{r \partial r} + K_v \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Onde:

h = espessura saturada do aquífero em m;

r = raio do poço de bombeamento;

z = é a espessura a partir da base do aquífero em m;

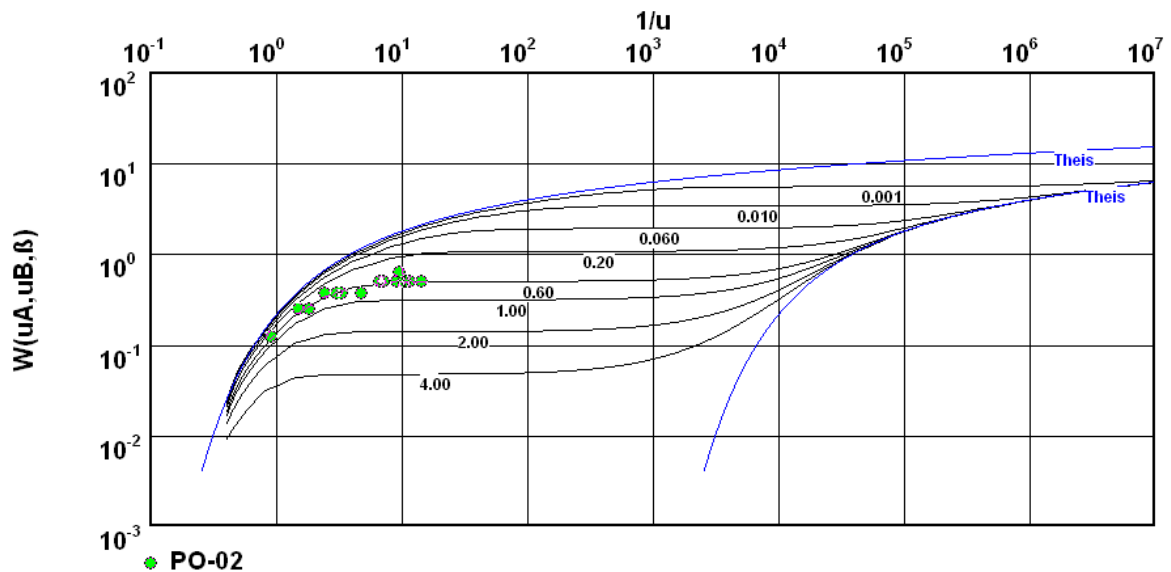
S_s = armazenamento específico em 1/m;

K = condutividade hidráulica radial em m/d;

K_v = condutividade hidráulica vertical em m/d; e

t = tempo.

Os rebaixamentos observados no PO-02 foi plotado no gráfico log/log com a função $W(uA, uB, \beta)$ ao longo do eixo y e $1/u$ no eixo x.



Transmissividade [m^2/min]: $1,50 \times 10^{-2}$ Coef. armazenamento $6,13 \times 10^{-3}$

Condu. hidráulica (K) [m/min]: $4,22 \times 10^{-4}$

Figura 7.14. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-02 (EXT0273) no gráfico $W(uA, uB, \beta) \times 1/u$ para aquíferos livres

A curva característica do PO-02 ajustou-se mais adequadamente à curva 0,60 do gráfico, e só foi possível ajustá-la no primeiro trecho da curva, o qual corresponde ao tempo curto de bombeamento. Não foi possível associar a curva característica do PO-02 à função W_B do gráfico, que corresponde ao tempo longo de

bombeamento (trecho final da curva no gráfico), o que impossibilitou a avaliação da porosidade específica, já que esta é obtida com o ajuste da curva característica ao trecho final do gráfico.

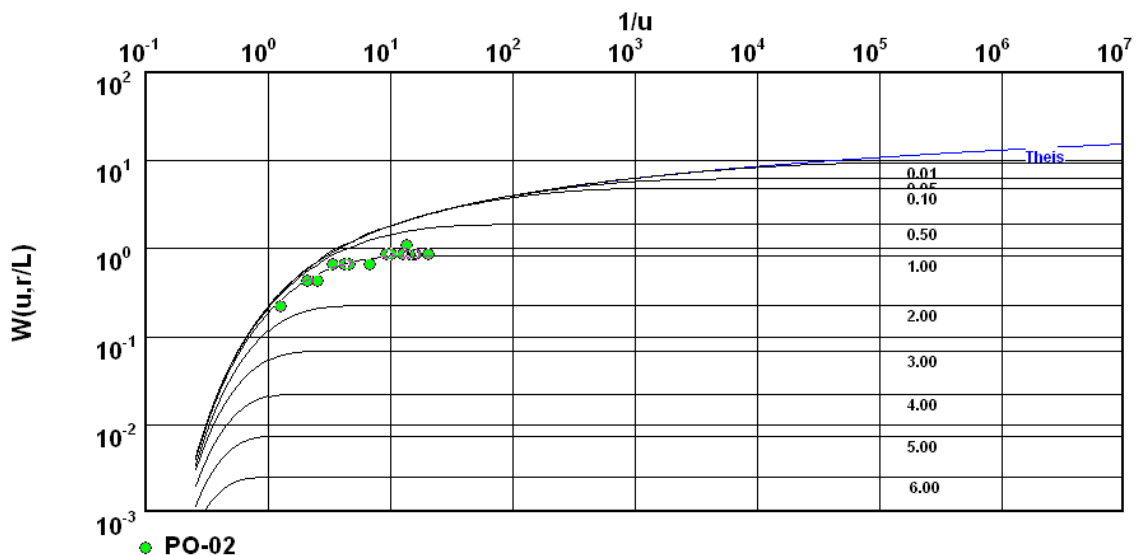
Os correspondentes valores dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos foram:

Transmissividade (T): $1,50 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$, ou $2,50 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$;

Condutividade hidráulica do aquífero (K): $4,22 \times 10^{-4} \text{ m/min}$ ou $7,03 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$;

Coefficiente de armazenamento (S): $6,13 \times 10^{-3}$ (adm)

Como os dados de rebaixamento por tempo nos poços de observação não tenderam a estabilização e com o objetivo de se avaliar os parâmetros hidrodinâmicos obtidos pelo método de Neuman para aquíferos livres, os mesmos parâmetros foram calculados pelo método de Hantush e Jacob para aquíferos semiconfinados (**Figura 7.15**), admitindo-se uma espessura saturada de 36 m.



Transmissividade [m^2/min]: $2,57 \times 10^{-2}$ Coef. armazenamento $7,45 \times 10^{-3}$

Condução hidráulica (K) [m/min]: $7,24 \times 10^{-4}$

Figura 7.15. Ajuste da curva de rebaixamento versus tempo do PO-01 (CRM0553) no gráfico $W(u,r/L) \times 1/u$ para aquíferos semiconfinados

A curva de 1,00 do gráfico foi a que melhor se ajustou aos dados do rebaixamento do PO-01, sendo obtidos os seguintes valores para os parâmetros hidrodinâmicos:

Transmissividade (T): $2,57 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$, ou $4,28 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$;

Condutividade hidráulica do aquífero (K): $7,24 \times 10^{-4} \text{ m/min}$ ou $1,21 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$;

Coefficiente de armazenamento (S): $7,45 \times 10^{-3}$ (adm)

Os resultados de transmissividade e condutividade obtidos pelo método de Hantush e Jacob para aquíferos semiconfinados são aproximadamente 60% maior em relação aos valores alcançados pelo método de Neuman para aquíferos livres. Entretanto, quando avaliados de forma mais ampla, comparando-se com os resultados dos outros testes discutidos (testes 1 e 2) e com a avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos de toda a RMN (apresentada no Capítulo 12 deste relatório), essa diferença não é significativa. Dessa forma, os parâmetros atribuídos ao aquífero no local do teste foram os obtidos pelo método de Neuman.

Com base na vazão específica de $0,26 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ do teste e admitindo-se a possibilidade de rebaixamento de 4 m do NE, a vazão máxima potencial para poços instalados nesse local é estimada em apenas $1 \text{ m}^3/\text{h}$.

7.4 Considerações sobre os resultados dos parâmetros hidrodinâmicos e síntese dos resultados

Nos sítios dos testes de aquífero 1 e 2, Nísia Floresta e Ceará-Mirim respectivamente, o Sistema Aquífero Barreiras se comporta como semiconfinado, conforme sugerem as configurações das curvas rebaixamento x tempo desses ensaios (**Figuras 7.7, 7.10 e 7.11**), assim como as correlações entre os poços em cada um desses sítios (**Figuras 7.5 e 7.8**). Nesses testes os dados foram interpretados pelo método de Hantush e Jacob (1955), o qual é aplicado aos aquíferos semiconfinados.

No sítio do teste 3 (Extremoz) a correlação dos perfis dos poços (**Figura 7.12**) sugerem um aquífero livre, entretanto a configuração da curva de rebaixamento x tempo do teste se ajusta tanto para aquíferos livres como para semiconfinados (**Figuras 7.14 e 7.15**). Como os valores obtidos em ambos os testes apresentam-se na mesma ordem de grandeza, de modo conservador, adotou-se os resultados obtidos pelo método de Neuman para aquíferos livres, que foram inferiores aos resultados obtidos pelo método de Hantush e Jacob.

Os resultados indicam que a porção superior do SAB, normalmente composta por sedimentos mais finos que a parte inferior, tende a atuar como uma camada semiconfinante para o aquífero, a depender principalmente da sua continuidade lateral. Entretanto, é preciso sinalizar que há fortes indícios de que, regionalmente, o SAB se comporta como um sistema aquífero livre, conforme é discutido nos capítulos 11, 12 e 13 deste relatório.

O valor mínimo de condutividade hidráulica obtido foi de $0,6 \text{ m}/\text{dia}$ ($4,22 \times 10^{-4} \text{ m}/\text{min}$) no teste 3, no Loteamento Caminho do Mar, município de Extremoz, e o maior foi de $6,97 \text{ m}/\text{dia}$ ($4,84 \times 10^{-3} \text{ m}/\text{min}$), na Fazenda São Mateus, em Ceará-

Mirim (**Tabela 7.2**). Os valores de condutividade hidráulica obtidos são compatíveis com a natureza litológica e granulométrica dos sedimentos do Sistema Aquífero Barreiras penetrado, representativos de arenitos argilosos a pouco argilosos, respectivamente. As transmissividades variaram de 22 m/dia no teste 3 a 361 m/dia no teste 2 (**Tabela 7.2**).

Nos poços de observação distanciados a aproximadamente 100 m dos respectivos PE's, apenas o PO-02 do teste 2 (Ceará-Mirim) respondeu aos bombeamentos efetuados, enquanto que nos demais (testes 1 e 3) os rebaixamentos foram muito pequenos, não sendo possível determinar a curva característica para esses poços.

Os resultados obtidos no ensaio em Ceará-Mirim evidenciam ótimas condições de condutância do aquífero e conferem elevada potencialidade de disponibilidade hídrica subterrânea nesse local. A escolha dessa região para os estudos já estava baseada em bons indicadores de potencialidade, verificados em poços já existentes na região e indicados em trabalhos anteriores. Os dados obtidos, no entanto, superam as expectativas para essas imediações, inclusive alcançando valores de transmissividade e de condutividade hidráulica superiores aos já conhecidos. Esses resultados indicam que essa área possui capacidade para atender grandes demandas, inclusive para abastecimento público, o que deve ser confirmado através de estudos de detalhe.

No sítio do teste 1 (Nísia Floresta) a potencialidade é mais modesta em relação ao teste 2, entretanto, devido à escassa ocupação e ao baixo nível de desenvolvimento urbano e agrícola, esse local torna-se de interesse como uma potencial área fonte de recurso hídrico para suprimento das futuras demandas da RMN, a ser avaliada detalhadamente sobre esse aspecto, em trabalhos específicos no futuro.

No sítio do teste 3, no município de Extremoz, os resultados indicaram índices baixíssimos de potencialidade hídrica, a qual já havia sido verificada durante o desenvolvimento do poço exploratório de Extremoz, compatível com a composição argilosa dos arenitos da formação Barreiras na área do teste, conferindo a essa localidade pouca ou nenhuma prioridade como área fonte para os usos públicos de captação de água. Considerando a heterogeneidade faciológica da formação Barreiras é possível que, localmente, possam ocorrer áreas com índices melhores de produtividade. No entanto, as potencialidades médias de outras regiões do aquífero Barreiras, deixam essa área em um estágio de baixo potencial de disponibilidade hídrica. Diante de tais índices de produtividade, mesmo a proximidade com uma das maiores taxas de demandas da RMN, a zona norte de Natal, a produção de poços nessa área seria compatível apenas com uso particular doméstico.

Tabela 7.2. Resumo dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos nos testes de aquífero do Sistema Aquífero Barreiras realizados na RMN

	Localidade	PE	PO	r (m)	Prof. (m)	Método	T		K		S
							m ² /min	cm ² /s	m/min	cm/s	adm
Teste 1	Lagoa Amarela (Nísia Floresta)	NZF0404			104	-	-	-	-	-	-
			PO-01 NZF0405	65,0	105	Hantush e Jacob	1,39 x 10 ⁻¹	2,32 x 10 ⁻¹	2,68 x 10 ⁻³	4,46 x 10 ⁻³	3,72 x 10 ⁻⁴
			PO-02 NZF0406	114,8	60	-	-	-	-	-	-
Teste 2	Fazenda São Mateus (Ceará- Mirim)	CRM0552			83	-	-	-	-	-	-
			PO-01 CRM0553	52,2	80	Hantush e Jacob	2,51 x 10 ⁻¹	4,18 x 10 ⁻¹	4,84 x 10 ⁻³	8,07 x 10 ⁻³	2,07 x 10 ⁻⁴
			PO-02 CRM0554	98,3	60	Hantush e Jacob	3,99 x 10 ⁻¹	6,65 x 10 ⁻¹	7,67 x 10 ⁻³	1,28 x 10 ⁻²	2,08 x 10 ⁻³
Teste 3	Loteamento Caminho do Mar (Extremoz)	EXT0274			72	-	-	-	-	-	-
			PO-01 EXT0275	102,1	74	-	-	-	-	-	-
			PO-02 EXT0273	44,2	60	Neuman	1,50 x 10 ⁻²	2,50 x 10 ⁻²	4,22 x 10 ⁻⁴	7,03 x 10 ⁻⁴	6,13 x 10 ⁻³
						Hantush e Jacob	2,57 x 10 ⁻²	4,28 x 10 ⁻²	7,24 x 10 ⁻⁴	1,21 x 10 ⁻³	7,45 x 10 ⁻³

PE: poço exploratório; PO: poço observado; Prof.: profundidade; r: distância do poço observado ao poço exploratório; Método: método de interpretação aplicado; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica; S: coeficiente de armazenamento

8 REDE DE MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE ÁGUA E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Este estudo contemplou a definição de uma rede de monitoramento da qualidade das águas e dos níveis d'água, incluindo poços tubulares rasos e profundos, poços amazonas (ou cacimbas) e águas superficiais (nascentes, rios e lagoas), com o objetivo de reconhecer as características naturais das águas, as ocorrências de nitrato, eventuais ocorrências de outras contaminações e criar dados que subsidiam a elaboração do modelo conceitual dos aquíferos.

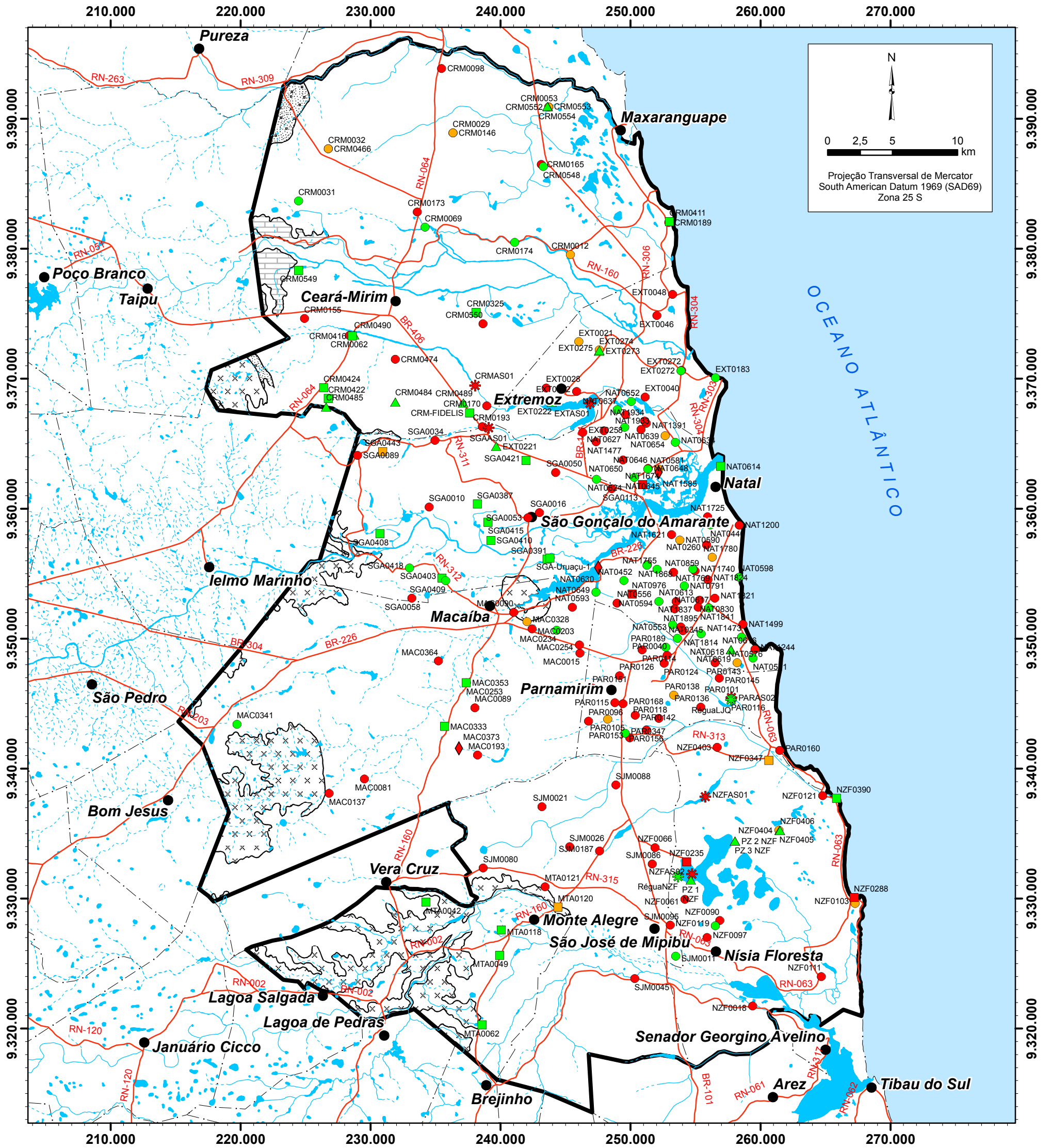
Para a melhor adequação técnica dos trabalhos, considerando a realidade encontrada em campo, relativa à acessibilidade física aos poços, foram definidas duas redes de monitoramento para a realização das medições de nível d'água e a tomada de amostras de água, com ao menos 100 pontos de medição em cada uma delas.

O conjunto de intersecção das redes de monitoramento qualitativo e quantitativo apresenta 14 pontos. Ou seja, em 14 pontos foi possível monitorar tanto os parâmetros hidroquímicos quanto o nível d'água.

Na definição da rede de qualidade das águas e da rede de monitoramento dos níveis d'água foram incluídos poços tubulares rasos e profundos, poços amazonas, nascentes e águas superficiais. Foram selecionados tanto poços do sistema público de abastecimento, quanto poços de particulares e foram considerados poços associados a diferentes situações de riscos de contaminação por nitrato, em termos de profundidade do nível d'água, tempo de atividade urbana, presença de fonte potencialmente contaminante e áreas de recarga e descarga.

Primeiramente foi constituída a rede de monitoramento qualitativa, voltada ao conhecimento hidroquímico, visto que esta rede necessitava de critérios mais detalhados para a sua definição e três premissas fundamentais para a sua definição se aplicariam também à rede de monitoramento quantitativa, sendo estas premissas: a cobertura da área de estudo, a densidade de pontos de captação de água e o conhecimento sobre os perfis litológicos construtivos dos poços.

A definição da rede de monitoramento qualitativa passou, portanto, a ser uma base inicial a partir da qual foram selecionados pontos para compor a rede de monitoramento quantitativa. A **Figura 8.1** apresenta a distribuição dos pontos das redes de monitoramento qualitativa e quantitativa. Os critérios para a seleção de áreas de interesse a monitorar foram o passo inicial para a seleção de poços para compor a rede de monitoramento e são apresentados a seguir.



N

0 2,5 5 10 km

Projeção Transversal de Mercator
South American Datum 1969 (SAD69)
Zona 25 S

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Rede de Monitoramento

- Qualidade
- Nível d'água
- Qualidade/Nível d'água

Tipificação do Ponto Monitorado

- ⊛ Superficial
- ◇ Nascente
- Cacimba
- △ Piezômetro
- Tubular

Geologia

- ▭ Formação Jandaira
- ▭ Formação Açú
- ⊞ Embasamento cristalino
- Contato geológico

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM
Localização da área de estudo



Figura 8.1. Rede de monitoramento dos níveis d'água e qualidade das águas na Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



8.1 Critérios para seleção de áreas de interesse

Para perseguir uma máxima cobertura da área de estudo, a visualização de áreas de interesse foi realizada em diferentes escalas (local, municipal, bacia, área toda), de modo a permitir a equalização da distribuição de poços.

De maneira simplificada, os seguintes critérios orientaram o apontamento de áreas de interesse para a composição da rede de monitoramento:

- máxima cobertura da área de estudo;
- potencial de contaminação (principalmente por nitrato);
- densidade de pontos de captação;
- potencialidade hídrica (Q/s e Transmissividade);
- fontes com alta vazão de captação;
- representatividade geral do aquífero Barreiras e pontual dos demais aquíferos.
- representatividade de zonas de recarga e descarga;

Os poços (tubulares e cacimbas) representam os principais equipamentos hidráulicos de acesso às águas subterrâneas, além de serem muito numerosos na área de estudo. Por essa razão constituíram a maioria dos pontos de amostragens. Os demais pontos de coleta, tais como as nascentes e as águas superficiais foram incluídos na rede de monitoramento com o critério de propiciar a avaliação de conectividade entre as águas subterrâneas e superficiais. Desse modo, em geral, os pontos de monitoramento das águas superficiais foram selecionados em função da proximidade de poços constituintes da rede de monitoramento.

A distribuição espacial da rede de monitoramento considerou também a densidade de poços na área. Pois, de um modo geral, as maiores densidades de poços estão associadas às áreas de maior densidade demográfica, conseqüentemente, com maior demanda por água e, comumente, com os maiores problemas relacionados à contaminação da água subterrânea, devido a fatores intrínsecos aos modelos da ocupação urbana. Esses aspectos motivaram adensar a rede de monitoramento nos municípios de Natal e Parnamirim, em relação aos demais municípios da RMN.

A ocorrência de contaminação por nitrato também foi outro fator importante nos critérios de seleção da rede de monitoramento. A partir do conhecimento de ocorrências de nitrato, apresentadas em estudos prévios, foi dada uma atenção especial à observação de poços localizados próximos a estes registros ou que apresentaram concentrações de nitrato em alguma análise pretérita.

Foram observados e interpretados os parâmetros hidroquímicos no cadastro dos poços e estes dados auxiliaram na definição da rede de monitoramento qualitativa, principalmente a exemplo das ocorrências de nitrato, mas também da distribuição espacial dos dados de condutividade elétrica (CE) e pH.

Os critérios adotados para a seleção dos poços, incluindo a definição das áreas de interesse discutida anteriormente, foram realizados em consonância com os termos especificados para estes estudos, bem como com os critérios de seleção de pontos para rede de monitoramento indicados na Resolução CNRH 107/10. Muito embora, a rede selecionada para este estudo não possui a finalidade de compor uma rede nacional de monitoramento que é o objeto da referida Resolução CNRH.

8.2 Critérios para seleção de poços para a rede de monitoramento qualitativa

Para a seleção de poços a constituírem a rede de monitoramento qualitativa foi estabelecido como premissa o conhecimento da seção filtrante e litologia do poço e foram utilizados os seguintes critérios fundamentais sobre os poços:

- indícios de ocorrência de Nitrato ou potencialidade de contaminação por nitrato;
- poço com seção isolada em uma unidade hidrogeológica;
- poço de abastecimento público;
- importância de uso quanto à qualidade (consumo humano);
- importância de uso quanto à quantidade (vazão explorada);
- importância específica (outros contaminantes, salinidade, isótopos, *background*).

A acessibilidade (física e administrativa) do poço foi pré-requisito para que viesse a compor a rede de monitoramento qualitativa e quantitativa. Conforme já mencionado, o fato da acessibilidade física ao poço para a coleta de amostras diferir da acessibilidade para a medição de nível d'água interferiu na intersecção entre as redes qualitativa e quantitativa.

8.2.1 Metodologia para seleção de poços para a rede de monitoramento qualitativa

O desenvolvimento de um processo metodológico para orientar a composição da rede de monitoramento foi motivado, sobretudo, pela necessidade de selecionar 100 pontos de interesse de um universo de mais de 4.000 registros potencialmente interessantes. Desse modo, a metodologia para seleção de poços para a rede de monitoramento qualitativa foi uma maneira desenvolvida para verificar e demonstrar o nível de adequação de poços selecionados para compor a rede de monitoramento.

Esta metodologia para a seleção dos pontos de monitoramento prevê uma pontuação do nível de adequação dos poços que permite ranquear os mais adequados às finalidades da rede. No entanto, a pontuação não define a rede, mas auxilia e orienta a identificação de poços que poderão satisfazer algumas premissas que a rede de monitoramento deve possuir.

Em geral, fatores relacionados à compartimentação geológico-estrutural e distribuição espacial não receberam pontuação, mas foram considerados como critérios principais na seleção da rede. Assim, ao ser definido um local, por exemplo, de interesse geológico, a metodologia de seleção permitiu auxiliar na escolha dos poços mais adequados, existentes naquele local de interesse.

O fluxo de trabalho da metodologia inicia com a identificação das diversas áreas de interesse a monitorar e o universo de pontos existentes nestas áreas, seguindo para verificar as características e condições de poços que pudessem ser classificados e selecionados para compor as redes de monitoramento.

A **Tabela 8.1** apresenta a identificação de critérios e valores elencados para pontuar o nível de adequação dos poços, deste modo, produzindo um demonstrativo das características destes poços.

Tabela 8.1. Identificação e valores de critérios de seleção de poços		
Critério	Descrição	Pont.
a	Potencialidade de contaminação por Nitrato ¹	6
b	Poço com seção isolada em uma unidade hidrogeológica	5
c	Poço de abastecimento público	4
d	Importância de uso quanto à qualidade (consumo humano)	3
e	Importância de uso quanto à quantidade (vazão explotada)	2
f	Importância específica ²	1

1- Ocorrência de Nitrato em poço ou entorno de risco; 2- outros contaminantes, salinidade, isótopos, *background*; Pont. Pontual ao critério.

Pela somatória de pontos, cada poço foi classificado numericamente e enquadrado em níveis de Menor, Intermediária e Maior adequação. Em seguida, estas faixas foram representadas por símbolos de modo a facilitar a visualização na tabela de classificação. A **Tabela 8.2** apresenta a correlação de faixas de pontuação e classificação do poço e a **Tabela 8.3** exemplifica a aplicação do método proposto.

Tabela 8.2. Simbologia para classificação do poço		
Faixa de pontuação	Nível de adequação do poço	Avaliação do poço (símbolo)
1 a 6	menor	*
7 a 12	intermediária	**
13 a 21	maior	***

Tabela.8.3. Identificação e valores de critérios de seleção de poços									
Ident. Servmar	Município	Identificação do critério						Pontuação do poço	Classific.¹
		a	b	c	d	e	f		
		Pontuação do critério							
		6	5	4	3	2	1		
CRM0146	Ceará-Mirim		x	x				9	**
EXT0021	Extremoz		x	x	x	x		14	***
MAC0254	Macaíba		x					5	*

1-Faixa de pontos: (*) 1 a 6; (**) 7 a 12; (***) 12 a 21

Inicialmente, foi definido um número superior a 100 pontos de amostragem que foram analisados, dispostos em mapa e checados em campo, considerando a acessibilidade (física ou administrativa) a estes poços, para que pudessem ser confirmados como unidades de monitoramento.

A rede de monitoramento aprovada foi constituída considerando-se um balanço da distribuição por toda a área de interesse, as demandas por abastecimento, as áreas de maior potencialidade hídrica e de maior interesse dos pontos de vista da qualidade.

8.2.2 Demonstrativo da seleção de pontos para a rede de monitoramento qualitativa

Após as áreas de interesse terem sido estudadas, com seus universos de poços verificados e a observação de poços, que atendessem as principais justificativas para serem selecionados, foi aplicada a metodologia para a classificação do nível de adequação desses poços.

As características mais comuns que justificaram a seleção de um poço foram: cobertura da área ou poço de abastecimento público em área urbana potencialmente impactada por nitrato. Foram consideradas as importâncias de poços estarem situados próximos a um ponto de amostragem de água superficial ou de serem representativos de uma geologia específica.

A **Tabela 8.4** apresenta a localização dos poços selecionados, bem como a aplicação da metodologia do nível de adequação do poço selecionado para a rede de monitoramento qualitativa.

Tabela 8.4. Rede de monitoramento										
Id_Servmar	Poço	Localidade	6	5	4	3	2	1	Pont.	Class. ¹
CRM0012	591	Alto do Sítio		X	X	X	X		14	***
CRM0029	1064	Veados		X	X	X	X		14	***
CRM0062	2020	Jacoca de Cima		X	X	X			12	**
CRM0098	3-AQ-01	Tamanduá - Faz. Atala		X				X	6	*
CRM0146	PS-1296	Riachão 2		X	X				9	**
CRM0165	SI	Fazenda das Aningas		X					5	*
CRM0170	FNS-RN-PS-201	Massaranduba			X			X	5	*
CRM0173	FNS-RN-PS-040	Lagoa do Cosme		X	X				9	**
CRM0189	FNS-RN-PS-108	Jacumã		X	X	X	X		14	***
CRM0193	FNS-RN-PS-129	Massaranduba			X	X	X	X	10	**
CRM0466	04-GAIA-04	Fazenda Nascimento		X					5	*
CRM0550	AQ-0001	Granja São José (CIAMA)		X		X	X		10	**
CRM0552	PE-SEVMAR	Fazenda São Mateus		X			X		7	**
EXT0021	FNS-RN-PS-065	Murici		X	X	X	X		14	***
EXT0028	FNS-RN-PS-074	Carão		X	X				9	**
EXT0040	PT 47 RDO	Captação Rio Doce		X	X				9	**
EXT0046	FNS-RN-PS-059	Contendas		X	X	X	X		14	***
EXT0048	FNS-RN-PS-061	Pitanguí		X	X				9	**
EXT0258	NSA0269	Dist. Ind.-Pç. Guararapes 03		X		X	X	X	11	**
EXT0272	PT-03-RN-GEN	BR-101 - Jenipabu		X	X	X	X		14	***
EXT0274	PE-SERVMAR	Loteamento Caminho do Mar		X					5	*
MAC0081	1871	Lagoa de Peixe		X		X			8	**
MAC0089	1974	Riacho do Sangue		X	X	X			12	**
MAC0090	1975	Hospital Alfredo Mesquita						X	1	***
MAC0193	PS-0143	Fazenda Bom Conselho		X				X	6	***
MAC0254	PT 10 GRC	Granja Recreio		X					5	*
MAC0328	P-5	Ferreiro Torto		X	X	X	X		14	***
MAC0364	PS-1295	UFRN-Instituto de Neurociências		X	X				9	**
MTA0120	MTA0120	Sítio Jardim (Doce Caseiro)				X			3	*

Tabela 8.4. Rede de monitoramento (continuação)										
Id_Servmar	Poço	Localidade	6	5	4	3	2	1	Pont.	Class.
MTA0121	MTA0121	Sítio Retiro (Casa da Prefeita)				X			3	*
NAT0556	PT-05	Captação Planalto	X	X	X	X	X		20	***
NAT0576	PT 12 PN	Ponta Negra	X	X	X	X	X		20	***
NAT0581	PT 44 POG	Captação Potengi	X	X	X	X	X	X	21	***
NAT0590	PT-01	Captação Dix-Sept-Rosado	X	X	X	X	X		20	***
NAT0593	PT01SV	Captação San Vale	X	X	X	X	X		20	***
NAT0617	PT-07	Captação San Vale	X	X	X	X	X		20	***
NAT0636	PT25LAZ	Captação Lagoa Azul	X	X	X	X	X		20	***
NAT0650	PT39AVR	Captação Alvorada	X	X	X	X	X		20	***
NAT0654	PT43BRN	Captação Brasil Novo	X	X	X	X	X		20	***
NAT0948	FCA0057	Captação Cidade Nova	X	X	X	X	X	X	21	***
NAT1200	MLZ0559	Via Costeira - Hotel	X	X			X		13	***
NAT1244	PT20JPG	Captação Jardim Progresso	X	X	X	X	X		20	***
NAT1477	PT06APN	Ponta Negra	X	X	X	X	X		20	***
NAT1499	416	Via Costeira - Hotel	X	X					11	**
NAT1725	TIR0368	Tirol	X	X					11	**
NAT1740	240	Captação Lagoa Nova	X		X	X	X		15	***
NAT1821	P-10	Captação Novo Campo	X	X	X	X	X		20	***
NAT1824	P-10A	Captação Lagoa Nova II	X	X	X	X	X		20	***
NAT1837	P-15	Captação Novo Campo	X	X	X	X	X		20	***
NAT1895	P-6	Cidade Satélite	X	X	X	X	X		20	***
NAT1933	PT05-GRM	Captação Pajuçara/Gramoré	X	X	X	X	X		20	***
NAT1934	PT06GRM	Captação Pajuçara/Gramoré	X	X	X	X	X		20	***
NZF0018	1279	Jenipapeira		X	X	X			12	**
NZF0061	S02	Lagoa do Bonfim		X	X	X	X	X	15	***
NZF0066	S10	Lagoa do Bonfim		X	X	X	X		14	***
NZF0097	POÇO PT-03	Reservatório		X	X	X	X		14	***
NZF0103	PT 02A BTA	Barra de Tabatinga		X	X	X	X		14	***
NZF0111	PT 02 CS	Campo de Santana		X	X	X			12	**
NZF0121	FNS-RN-PS-197	Pirangi do Sul		X	X	X	X		14	***
NZF0403	NZF0404	Rua Leomar Pegado				X			3	*
NZF0404	PE-SERVMAR	Lagoa Amarela		X		X			7	**
PAR0096	PT 28 JPC	Bairro Jardim America	X	X	X	X	X		20	***
PAR0101	PT 01 LJI	Lagoa do Jiqui	X	X	X	X	X	X	21	***
PAR0105	PT 13 VSO	Vale do sol (Colegio Enedina)	X	X	X	X	X		20	***
PAR0114	PT 21 PQI	Parque industrial	X	X	X	X	X		20	***
PAR0115	PT 09 CHB	Cohabinal	X	X	X	X	X		20	***

Tabela 8.4. Rede de monitoramento (continuação)										
Id_Servmar	Poço	Localidade	6	5	4	3	2	1	Pont.	Class.
PAR0118	PT 51 PAR	Bairro Liberdade	X	X	X	X	X		20	***
PAR0124	PT 19 EMA	Emaús	X	X	X	X	X		20	***
PAR0126	PT 29 PQE	Parque Aristófanos Fernandes	X	X	X	X	X		20	***
PAR0136	PT 16 NPR	Nova Parnamirim	X	X	X	X			18	***
PAR0138	PT 19 NPR	Nova Parnamirim	X	X	X	X	X		20	***
PAR0142	PT 05 JPL	Jardim Planalto	X	X	X	X	X		20	***
PAR0143	PT 11 NPR	Nova Parnamirim	X	X	X	X	X		20	***
PAR0151	PT 26 CFD	Bairro Passagem de Areia	X	X	X	X	X		20	***
PAR0153	PT 35 SVD	Loteamento Sonho verde	X	X	X	X	X		20	***
PAR0156	PT 39 LCA	Loteamento Caminho do Atlantico	X	X	X	X	X		20	***
PAR0160	PIUM 01	Pium-Ginásio Esportivo	X	X	X	X	X		20	***
PAR0168	PT 01 ESC	Escritório local	X	X	X	X	X		20	***
SGA0010	PS-231	Bela Vista		X	X	X	X		14	***
SGA0016	PS-365	Canaã		X	X	X	X		14	***
SGA0034	378	Faz. Massaranduba		X		X	X		10	**
SGA0050	PS-264	Guajirú		X	X	X	X		14	***
SGA0053	334	Hospital				X	X	X	6	*
SGA0058	PS-238	Lagoa do Tapará		X	X	X	X		14	***
SGA0089	PS-263	Serrinha		X	X	X			12	**
SGA0113	PT38AMR	Conj. Amarante	X		X	X	X		15	***
SGA0443	Cacimba	Serrinha do Meio		X					5	*
SJM0026	1691	Assentamento Vale do Lirio					X	X	3	*
SJM0045	PS-142	Ribeiro II		X	X	X			12	**
SJM0080	PS-114	Arenã		X	X	X			12	**
SJM0086	PS-289	Areia Branca		X	X	X	X		14	***
SJM0088	PS-379	G. Recreativo dos Patrulheiros		X		X	X		10	**
SJM0095	PT 004	Bica		X	X	X	X		14	***
SJM0187	PT-04	Lírio do Vale		X	X	X	X		14	***

1 - Faixa de pontos: menor (*) 1 a 6; intermediária (**) 7 a 12; maior (***) 12 a 21.

Os pontos de águas superficiais (nascentes, rios e lagoas) foram selecionadas considerando-se a sua representatividade para correlação com as águas do aquífero Barreiras e a sua importância como fonte de captação de água para abastecimento, atual ou futuro. Na seleção destes pontos atentou-se para que, preferencialmente, estivessem associados à proximidade de poços componentes da rede de monitoramento qualitativo.

A **Tabela 8.5** apresenta a identificação e localização dos pontos de amostragem adotados, sendo indicado um resumo da justificativa que baseou a escolha desses locais para comporem a rede de monitoramento.

Tabela 8.5. Pontos de águas superficiais		
ID	Município	Justificativa
PAR AS 02	Parnamirim	Fonte de abastecimento
NZF AS 02	Nísia Floresta	Fonte de abastecimento
NZF AS 01	Nísia Floresta	Futura fonte de abastecimento
CRM AS 01	Ceará-Mirim	Ponto superficial de interesse, próximo a poço da rede
SGA AS 01	S. G. do Amarante	Ponto superficial de interesse, próximo a poço da rede
EXT AS 01	Extremoz	Fonte de abastecimento
NAT 1585	Natal	Nascente, representativa do aquífero Barreiras
NAT 0630	Natal	Nascente, representativa do aquífero Barreiras
MAC 0373	Macaíba	Nascente, representativa do aquífero Barreiras

8.3 Seleção de poços para a rede de monitoramento específica

Posteriormente à definição da rede de qualidade, prioritariamente voltada ao conhecimento da hidroquímica, foram definidos os pontos de amostragem de parâmetros relacionados a possíveis contaminações por pesticidas, metais pesados e derivados de petróleo, bem como a estudos com isótopos. Inicialmente, a seleção ocorreu dentre os componentes da rede pré-definida e, complementarmente, foram inseridos novos pontos voltados para um dado parâmetro de interesse específico. Para esta abordagem, a seleção de poços da rede levou em conta o conhecimento sobre o uso e ocupação do solo; os cadastros de fontes de contaminação; o mapa de zoneamento do risco; vulnerabilidade natural à contaminação e o modelo conceitual hidrogeológico.

As redes de monitoramento específico foram constituídas por 40 amostras para análise de isótopos ambientais, 30 para agroquímicos, 25 para contaminantes derivados de petróleo e 40 para metais pesados.

Para a seleção dos pontos relativos à investigação sobre possíveis contaminações, foi definida como premissa fundamental a presença de uma atividade potencialmente contaminante na proximidade do ponto selecionado. Para a seleção dos pontos para análise de isótopos ambientais foram considerados pontos de águas de lagoas, pontos de nascentes e pontos representativos de cada aquífero, com ênfase ao SAB, buscando águas de diferentes profundidades e localidades no aquífero.

Análise de Metais Pesados

As amostras destinadas às análises de metais pesados: Bário, Níquel, Zinco, Cadmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio e Arsênio, foram selecionadas no entorno de fontes potenciais de contaminação, tais como indústrias de elevado potencial de contaminação e lixões. A base de dados destas informações foram obtidas nos cadastros do IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente) e FIERN (Federação das Indústrias do eEstado do Rio Grande do Norte), além das atividades de campo.

Compostos Organoclorados e Organofosforados

As amostras destinadas às análises de compostos agroquímicos, pesticidas organoclorados e organofosforados, foram selecionadas em áreas agrícolas potencialmente sob influência do uso de fertilizantes e pesticidas. Estas áreas foram identificadas através das atividades de campo e dados fornecidos pelo IDEMA e EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural). Nota-se que a maioria dos poços selecionados estão localizados nos municípios de Ceará-Mirim e São José do Mipibu.

Contaminantes Derivados de Petróleo

Após consulta de dados na SEMURB (Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo) e ANP (Agência Nacional do Petróleo) e informações adquiridas em campo foram selecionados poços para a investigação de eventuais ocorrências de contaminantes derivados de petróleo. Para a seleção de poços, foram verificadas áreas no entorno de postos de combustíveis e oficinas mecânicas. Os parâmetros analisados foram fenóis e compostos aromáticos BTXE (benzeno, tolueno, xilenos e etilbenzeno).

Avaliações Isotópicas

Os isótopos ambientais, de hidrogênio e oxigênio, são utilizados na investigação sobre a origem das águas e mecanismos de contaminação. Foram definidos pontos representativos dos aquíferos Açu, Jandaíra, Rochas Carbonáticas, Mistos (Rochas Carbonáticas e Barreiras) e Barreiras. Para o aquífero Barreiras foram coletadas amostras provavelmente representativas de fluxos locais, intermediários e regionais, definidas pela localização regional do poços e o intervalo de profundidade das seções filtrantes. Para se obter uma malha de águas de recarga foram definidos diversos poços rasos, em sua maioria cacimbas. Foram definidos também pontos de amostragem de nascentes e lagoas. Vale ressaltar que todos os poços que compõem esta rede, também compõem a rede de monitoramento hidroquímico.

8.4 Seleção de poços para a rede de monitoramento quantitativa

A rede de monitoramento quantitativa foi constituída de 100 pontos com a principal finalidade de viabilizar a coleta de medidas de nível d'água que permitam obter dados de cargas hidráulicas e, desse modo, permitir a elaboração de mapas potenciométricos.

O primeiro passo foi tentar utilizar os poços da rede de monitoramento analítico com acessibilidade para medição de nível d'água, visando integrar no maior número de pontos possíveis, os monitoramentos de quantidade e de qualidade. No entanto, limitações de acesso à medição de nível ou a impossibilidade de interrupção no bombeamento, levaram à necessidade de identificar pontos específicos ao monitoramento quantitativo.

Desse modo, buscou-se identificar pontos, preferencialmente próximos aos da rede qualitativa, que viessem a satisfazer os interesses específicos da rede de monitoramento da quantidade.

Os principais interesses da rede de monitoramento quantitativo a serem atendidos são: acesso facilitado para a introdução do equipamento de medição de nível d'água; a distribuição espacial tanto em áreas de recarga quanto em áreas de descarga do aquífero; poços paralisados ou que possam ser paralisados com facilidade; locais que permitam obter correlação de nível entre as águas superficiais e subterrâneas e uma distribuição espacial em toda a área de estudo.

A definição da rede de medição de nível de água também observou a distribuição dos pontos de monitoramento em relação às estações meteorológicas e postos fluviométricos e a proximidade com os corpos hídricos superficiais, sobretudo com as principais lagoas da área, com destaque às lagoas de Extremoz, Jiqui e o Sistema Lacustre Bonfim.

Com base nos interesses descritos acima, a seleção considerou poços cujos perfis litológicos e construtivos são conhecidos, bem como poços cacimbas de litologia conhecida, de modo a sustentar que a observação de níveis de água nos poços selecionados seja consistente.

A **Tabela 8.6** apresenta características dos poços constituintes da rede de monitoramento quantitativa.

Tabela 8.6. Características dos poços da rede de monitoramento quantitativa

ID_Servmar	Cód_Cadastro	Localidade	Tipo	Aquífero	Uso
CRM0012	591	Alto do Sítio	Tubular	Barreiras	Abast. público
CRM0031	1104	Mineiro	Tubular	Jandaira	Abast. público
CRM0069	2247	Fazenda Quiri	Tubular	Barreiras	Doméstico
CRM0146	PS-1296	Riachão 2	Tubular	Barreiras	Abast. público
CRM0174	FNS-RN-PS-041	Rio dos Índios	Tubular	Barreiras	Abast. público
CRM0325	C24	Tabuam	Cacimba	Barreiras	Doméstico
CRM0411	135	Rua Sebastião nº 282 Praia de Jacumã	Cacimba	Dunas/Barreiras	Doméstico
CRM0416	399	Povoado Jococa de cima próximo ao mercadinho Ricardo	Cacimba	Barreiras	Doméstico
CRM0422	405	Faz. Igreja Nova	Cacimba	Barreiras	Agrícola
CRM0424	407	Vila da Paz	Cacimba	Barreiras	Agrícola
CRM0466	04-GAIA-04	Fazenda Nascimento	Tubular	Barreiras	Agrícola
CRM0484	PZ 10	Fazenda São Pedro	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
CRM0485	PZ 11	Guajiru	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
CRM0489	PZ 4	Sítio Massaranduba - margem direita da BR Natal/CRM	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
CRM0490	PZ 9	Jacoca de Cima	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
CRM0548	Fazenda Esperança	Fazenda Esperança das Aningas	Tubular	Barreiras	Agrícola
CRM0549	Cacimba	Várzea de Dentro II - Rua Principal	Cacimba	Barreiras	Outros
CRM0552		Fazenda São Mateus	Tubular	Barreiras	Monitoramento
CRM0553		Fazenda São Mateus	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
CRM0554		Fazenda São Mateus	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
CRM0555		Massaranduba	Cacimba	Barreiras	Doméstico

Tabela 8.6. Características dos poços da rede de monitoramento quantitativa (continuação)

ID_Servmar	Cód_Cadastro	Localidade	Tipo	Aquífero	Uso
EXT0021	FNS-RN-PS-065	Murici	Tubular	Barreiras	Abast. público
EXT0183	125	Estacionamento Santa Rita / Genipabu (ponto final)	Cacimba	Dunas/Barreiras	Comercial
EXT0221	PZ 3	Guajiru	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
EXT0222	PZ 5	Lagoa de Extremoz	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
EXT0272	PT-03-RN-GEN	Trevo BR-101 com estrada para Jenipabu	Tubular	Barreiras	Abast. público
EXT0273		Granja Confiança - Loteamento Caminho do mar	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
EXT0274		Granja Confiança - Loteamento Caminho do mar	Tubular	Barreiras	Monitoramento
EXT0275		Granja Confiança - Loteamento Caminho do mar	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
MAC0234	PT 003	Granja Recreio	Tubular	Barreiras	Abast. público
MAC0253	PT 09 GRC	Granja Recreio	Tubular	Barreiras	
MAC0328	P-5	Ferreiro Torto	Tubular	Barreiras	Abast. público
MAC0333	261	Tabatinga próximo ao terminal dos onibus	Cacimba	Barreiras	Doméstico
MAC0341	C258	Rua Santa Rita	Cacimba	Barreiras	Agrícola
MAC0353	328	Comunidade Periperi	Cacimba	Barreiras	Agrícola
MTA0042	338	Sítio Olho D'água	Cacimba	Barreiras	Doméstico
MTA0049	347	Sítio Castanha	Cacimba	Barreiras	Comercial
MTA0062	341	Lagoa do Mato	Cacimba	Barreiras	Doméstico
MTA0118	Cacimba	Granja J. do Agreste	Cacimba	Barreiras	Doméstico
MTA0120		Sítio Jardim (Doce Caseiro)	Cacimba	Barreiras	Doméstico
NAT0345	21130 (H)	Cidade Satélite - Cond. Vita. Rua dos Caiapós com Rua das Perdizes	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0446	PS-0141	Cidade da Criança - Lagoa Manoel Felipe	Tubular	Barreiras	Abast. público

Tabela 8.6. Características dos poços da rede de monitoramento quantitativa (continuação)

ID_Servmar	Cód_Cadastro	Localidade	Tipo	Aquífero	Uso
NAT0452	PS-863	Captação Planalto - R. Maranata, Conj. Leningrado	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0553	P-4	Captação Cidade Satélite - Entre as Ruas Ebano e Figueira	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0571	PT 08 APN	Captação Ponta Negra - Rua Francisco Simplicio co a Rua São Geraldo - Vila Ponta Negra	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0576	PT 12 PN	Captação Ponta Negra/Lagoa de Estab.	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0581	PT 44 POG	Captação Potengi - Conj. Potengi	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0590	PT-01	Captação Dix-Sept-Rosado - Rua Araguari c/ Interventor Mario Camara	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0594	PT-02	Horto Florestal - Cidade Satélite	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0598	PT02EEP	Estação elevatória de esgoto da via costeira 02-Ponta Negra	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0614		Fortaleza dos Reis Magos	Cacimba	Barreiras	
NAT0616	Multinivel	Flora Boulevard - Ponta Negra	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
NAT0618	Multinivel	Flora Boulevard - Ponta Negra	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
NAT0619	Multinivel	Flora Boulevard - Ponta Negra	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
NAT0624	PT14PQR	Captação Parque dos Coqueiros - BR-406 Parque dos Coqueiros	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0634	PT23RDN	Captação Redinha - Av. Moema Tinoco - Pajuçara	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0637	PT26LAZ	Captação Lagoa Azul - Estrada de Barro	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0639	PT28 NNT	Captação Nova Natal - R. do Bambelo em frente a R. do Xique-xique - Conj. Nova Natal	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0645	PT34PNT	Captação Panatis - R. Ilheus c/ R. Limoeiro do Norte - Conj. Panatis	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0646	PT35 SCT	Captação Santa Catarina/Soledade - Rua Nilopolis - Conj. Santa Catarina	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0649	Coração do Guarapes	Sítio Coração de Guarapes	Cacimba	Barreiras	
NAT0652	PT41GRM	Captação Pajuçara/Gramoré - Conjunto Gramorezinho	Tubular	Barreiras	Abast. público

Tabela 8.6. Características dos poços da rede de monitoramento quantitativa (continuação)

ID_Servmar	Cód_Cadastro	Localidade	Tipo	Aquífero	Uso
NAT0654	PT43BRN	Captação Brasil Novo - R. Mar Mediterrâneo - Resid. Jardim Brasil	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT0791	P-01C	Captação Candelária - Av. Prudente de Moraes - Reservatório 6	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT1473	PNE0021	Captação de Ponta Negra - Reservatório - Rua Praia de Camboinhas	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT1755	472	Captação Cidade da Esperança	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT1769	10 (C)	Captação Lagoa Nova I - Centro Administrativo	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT1780	5 (A)	Captação Dunas	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT1814	P-1	Captação Conj. Pirangi - Rua São Miguel dos Caribes com a Rua Marilac	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT1841	P-17	Captação Novo Campo - R. Dr. Alexander Fleming c/ a R. Pastor Galino	Tubular	Barreiras	Abast. público
NAT1868	P-3	Captação Felipe Camarão/Cidade Nova - Reservatório - Rua Pe. Cícero c/ Rua da Santa Fé	Tubular	Barreiras	Abast. público
NZF0103	PT 02A BTA	Tabatinga	Tubular	Barreiras	Abast. público
NZF0119	PT 04 NFL	Loteamento Cidade Alta	Tubular	Barreiras	Abast. público
NZF0347	124	Rua lagoa Seca 3 colonia Pium área rural	Cacimba	Barreiras	Doméstico
NZF0390	323	Rua Pedra Grande, s/n	Cacimba	Barreiras	Agrícola
NZF0404		Lagoa Amarela	Tubular	Barreiras	Monitoramento
NZF0405		Lagoa Amarela	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
NZF0406		Lagoa Amarela	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
NZF_PZ1		Bar da Lagoa	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
NZF_PZ2		Lagoa do Bonfim	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
NZF_PZ3		Lagoa do Bonfim	Piezômetro	Barreiras	Monitoramento
PAR0105	PT 13 VSO	Vale do Sol	Tubular	Barreiras	Abast. público

Tabela 8.6. Características dos poços da rede de monitoramento quantitativa (continuação)

ID_Servmar	Cód_Cadastro	Localidade	Tipo	Aquífero	Uso
PAR0116	PT04-LJI	Lagoa do Jiqui	Tubular	Barreiras	Abast. público
PAR0138	PT 19 NPR	Caminho do Sol	Tubular	Barreiras	Abast. público
PAR0189	63a PAR	Emaús	Tubular	Barreiras	Abast. público
PAR0347	PT-54	Jardim Blumenau	Tubular	Barreiras	Abast. público
SGA0387	391	Olho d'água de cima (aeroporto)	Cacimba	Barreiras	Doméstico
SGA0391	363	Praça dos Mártires, 10 - Uruaçu	Cacimba	Barreiras	Comercial
SGA0403	153	Rua joana varela nº 54	Cacimba	Barreiras	Doméstico
SGA0408	387	Rua principal 151 Genipabu (Walfredo Gurgel)	Cacimba	Barreiras	Doméstico
SGA0409	146	Rua Rio da Prata, nº 34	Cacimba	Barreiras	Doméstico
SGA0410	246	Rua Santo Antonio 55	Cacimba	Barreiras	Agrícola
SGA0415	244	Rua Severino Siqueira	Cacimba	Barreiras	Industrial
SGA0418	160	Sítio Alagadiço Grande	Cacimba	Barreiras	Doméstico
SGA0421	245	Sítio Guajiru	Cacimba	Barreiras	Doméstico
SGA0443	Cacimba	Rua Matias Juvenal de Macedo, 2039 Serrinha do Meio	Cacimba	Barreiras	Doméstico
SGA0472		Uruaçu	Cacimba	Barreiras	Doméstico
SJM0011	907	Fazenda Belém	Tubular	Barreiras	Abast. público
RéguajLJQ		Lagoa do Jiqui	Réguaj		Monitoramento
RéguajNZF		Captação Lagoa do Bonfim	Réguaj		Monitoramento

Nota: As letras do Id_Servmar representam o município de localização do poço (CRM: Ceará-Mirim; EXT: Extremoz; MAC: Macaíba; MTA: Monte Alegre; NAT: Natal; NZF: Nísia Floresta; PAR: Parnamirim; SGA: São Gonçalo do Amarante; SJM: São José de Mipibu).
Abast. Público: abastecimento público.

9 NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO

As cotas topográficas ao lado de cada poço da rede de monitoramento de quantidade foram determinadas, com GPS Geodésico, tendo em vista a obtenção das cargas potenciométricas do aquífero no local de cada poço e posterior elaboração do mapa potenciométrico. O nivelamento foi orientado no sentido de se obter a maior precisão possível, para que as interpretações do nível potenciométrico sejam baseadas em resultados confiáveis.

O Datum de referencia para o nivelamento topográfico e coordenadas dos poços foi o SAD 69 (planimétrico) e Imituba (altimétrico) adotado pelo IBGE como Datum do Sistema Geodésico Brasileiro.

O nivelamento topográfico foi realizado em 100 (cem) pontos de água (poços e pontos superficiais) componentes da rede de monitoramento, entre os dias 04 e 24 do mês de novembro de 2011.

O ponto a ser nivelado no poço foi um referencial permanente, difícil de ser alterado com o tempo, tendo sido adotado o seguinte procedimento:

- execução de um entalhe na lateral externa do revestimento do poço, pintado com tinta vermelha, constituindo o ponto que foi nivelado;
- obtenção das altitudes referidas a esse entalhe pintado;
- medição da profundidade do nível d'água (a partir da borda da boca do poço) subtraindo-se a altura (h) e a altitude do entalhe para a obtenção da carga potenciométrica do aquífero, em cada poço.

Portanto, além do nivelamento, foi realizada a demarcação topográfica de poços tubulares, piezômetros, cacimbões e pontos superficiais providos de régua de medição.

As médias das precisões das componentes (N, E, h) nos pontos adquiridos durante a execução do trabalho foram, respectivamente, de 0.01 m, 0.02 m e 0.03 m, sendo esses valores calculados com base na média aritmética de todos os pontos.

As fotos a seguir demonstram os trabalhos de campo durante nivelamento topográfico de poços tubulares.



Foto 19. Nivelamento topográfico com GPS Geodésico em poço cacimba



Foto 20. Destaque da sinalização do entalhe do nivelamento topográfico



Foto 21. Marca de sinalização do entalhe do nivelamento topográfico

9.1 Equipamentos e softwares utilizados

Foram utilizados 6 receptores GPS, sendo que 3 deles operaram em campo como Rovers e 3 deles operaram como Bases nas estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). Os modelos utilizados em campo foram: 1 receptor Trimble R6 L1/L2 e 2 receptores Topcon Hiper Lite L1/L2. Os receptores da RBMC usados como Bases foram: 1 receptor Trimble NetRS na base de Natal, 1 receptor Trimble R5 na base de Mossoró e outro receptor Trimble R5 na base de Campina Grande. Todos os equipamentos foram configurados como esquemas de antenas ZEPHYR GNSS GEODETIC.

Quanto aos receptores utilizados em campo, o Topcon Hiper Lite é um receptor GPS integrado (receptor, antena, bateria e carregador), com 40 canais universais, capaz de rastrear sinais de satélites GPS e WAAS (opcional). Sua taxa de atualização é de 1 Hz e sua memória interna apresenta 8 Mb de capacidade de armazenamento (mais de 40 horas de rastreamento CA+L1 com intervalo de 15"). A precisão horizontal máxima do equipamento é de 3mm + 0,5ppm e a vertical máxima é de 5mm + 0,5ppm.

Já o receptor da Trimble R6 é definido como GNSS L1/L2 e L2C (GPS + GLONASS) com 72 canais paralelos. Possui Antena, memória e bateria integrada. Utiliza a tecnologia Bluetooth para conexão com o coletor e com o PC, sendo totalmente a prova d'água. Suas precisões horizontal máxima e vertical máxima são de 3mm + 0,1ppm. Possui coletor de dados TSC2 com software TBC (*Trimble Business Center*) para o processamento dos dados do levantamento topográfico.

Os dados, com ambos os receptores Rovers, foram adquiridos através do método de aquisição estático com pós-processamento. Os processamentos e ajustamentos dos dados GPS foram efetuados nos softwares Topcon Tools 6.04 e TBC. Utilizou-se o modo de posicionamento relativo estático. A interface do Topcon Tools e do TBC contém a funcionalidade padrão do Microsoft Windows.

As principais atividades envolvidas no nivelamento e georreferenciamento dos poços foram: 1) determinação da posição e altura elipsoidal dos objetos deste relatório através do método de posicionamento relativo estático; 2) processamento dos dados através dos softwares Topcon Tools e TBC, com a finalidade de avaliar se os mesmos encontravam-se dentro da margem de erros exigida; 3) e geração de arquivos de dados digitais formato *Shapefile* (SHP).

Os poços utilizados para a medição do nível freático tiveram sua posição registrada através do posicionamento do GPS no modo de posicionamento relativo estático, com sessões de no mínimo 20 minutos para áreas próximas as estações da RBMC como a grande Natal e 1h 25 minutos para pontos coletados

em áreas distantes de pelo menos uma das estações da RBMC utilizadas no pós-processamento. Todos os dados processados foram tratados com base nas estações fornecidas pelo IBGE.

9.2 Estações GPS de referência

Para servir de referência ao posicionamento por GPS dos poços, piezômetros e cacimbas adquiridos, foram utilizadas as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) mais próximo desses locais, sendo estas a RNNA (Natal - RN), a RNMO (Mossóro - RN) e a PBCG (Campina Grande - PB).

Todos os receptores GPS utilizados no posicionamento das estações de referência foram de dupla frequência e 12 canais, operando com intervalo de amostragem de 15 segundos e ângulo de elevação mínimo de 15°. Esses dados são fornecidos pelo site do IBGE.

Em resumo, as estações de referência utilizadas para o processamento dos dados coletados para o posicionamento dos piezômetros, poços, cacimbas e pontos superficiais, seguiram os parâmetros descritos abaixo:

- Modo de posicionamento: relativo estático convencional;
- Duração da sessão: > 24 h;
- Número de estações de referência: 3 (RBMC);
- Ângulo de elevação mínimo: 15°;
- Tipo de observação: fase da portadora;
- Frequência: L1/L2
- Solução admitida: *Float, Wide Lane ou Ionó Free* (recomendadas para vetores com centenas de quilômetros);
- Erro padrão admissível: < 10 cm;
- Receptores utilizados: Trimble NetR5, Trimble R5 e Trimble R5. Esses posicionados pelo IBGE.

9.3 Aquisição dos dados (georreferenciamento dos pontos)

As coordenadas dos pontos foram determinadas a partir do posicionamento relativo estático convencional utilizando-se, como referência, a própria Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). No posicionamento dos pontos em questão, todos os receptores permaneceram fixos por um período mínimo para que a solução se enquadrasse na margem de erro admissível. Todos os receptores de campo foram utilizados como Rover para que houvesse uma

melhor dinâmica durante a realização trabalho em questão. A duração das sessões de observação foi de no mínimo 20 minutos e no máximo 1h25 minutos, dependendo de quão distante das estações de referência estivesse o ponto a ser monitorado.

Os receptores utilizados para levantamento dos poços, piezômetros e cacimbas foram um Trimble R6 e dois Hiper Lite ambos L1/L2.

No posicionamento e processamento dos pontos, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Modo de posicionamento: relativo estático com pós-processamento;
- Duração da sessão: de 20 min a 1h 25min;
- Frequência: L1/L2
- Tipo de observação: fase da portadora;
- Ângulo de elevação mínimo: 10°;
- Solução admitida: *Float, Wide Lane ou Ionos Free*;
- Erro padrão admissível: < 5 cm;
- *Softwares* de processamento: *Topcon Tools Vr. 6.04* da Topcon e TBS (*Trimble Business Center*) da Trimble;
- Receptores utilizados na aquisição dos dados: 2 Hiper Lite, 1 Trimble R6 (ver Capítulo 1);

Todas as estações de referência foram fornecidas pela RBMC, desta forma, não se fez necessária à geração de estações de apoio nas proximidades dos pontos de aquisição dos dados.

9.4 Geração de arquivos de dados digitais

Os parâmetros utilizados na produção do arquivo digital formato SHP de nivelamento e georreferenciamento dos poços, piezômetros, cacimbas e pontos superficiais são apresentados a seguir. Nos projetos compatíveis com softwares de sistemas de informações geográficas (SIG) são apresentados os dados captados, o tempo de aquisição e o erro em cada vetor. O sistema de coordenadas adotado no processamento foi o *South American Datum 1969 (SAD 69)*.

A representação gráfica dos dados foi produzida em formato SHP utilizando o *Software ArcGIS*, com o qual os pontos foram projetados utilizando-se os seguintes atributos:

- Formato SHP de saída, formato padrão do *software*;
- Coordenadas, erros e desvio padrão dos dados nos vetores;

- Identificadores de pontos de interesse e indicadores dos dados brutos;
- Sistema de coordenadas adotado para o processamento dos dados (SAD69).

As planilhas bases que fazem parte do material digital previsto nesse estudo apresentam os dados de GPS; indicação das coordenadas UTM referenciadas ao Meridiano Central (MC) da região, tendo como referencial planimétrico o Datum SAD69; identificação dos vértices do SGB adotados como referência e suas respectivas coordenadas. Os dados referentes aos pontos são caracterizados no SHP, facilitando assim a construção de um SIG e a visualização de suas coordenadas como outros dados que estão disponíveis. A descrição contém ainda os desvios padrões para os dados, seguidos das respectivas coordenadas N, E e h, no sistema UTM, de todos os pontos adquiridos.

9.5 Coordenadas das estações de referência

A **Tabela 9.1** apresenta as coordenadas geodésicas da estação de referência, no sistema SIRGAS 2000, e a **Tabela 9.2** mostra as correspondentes precisões obtidas.

Tabela 9.1. Coordenadas geodésicas da estação de referência				
Nome	UTM S (m)	UTM E (m)	H (m)	MC
RBMC RNNA	9354429,673	255542,605	45,97	-33
RBMC RNMO	9424513,864	685597,001	23,40	-33
RBMC PBCG	9201606,165	178917,587	534,10	-33

Tabela 9.2. Erro das coordenadas da estação de referência			
Nome	Sigma N (m)	Sigma E (m)	Sigma h (m)
RBMC RNNA	0,00	0,00	0,00
RBMC RNMO	0,00	0,00	0,00
RBMC PBCG	0,00	0,00	0,00

9.6 Cotas topográficas e coordenadas dos pontos georreferenciados

A **Tabela 9.3** traz, para cada um dos 100 pontos georreferenciados, a cota topográfica do terreno, cota topográfica da marcação no poço (entalhe), a diferença de altura entre o entalhe e a boca do poço. O georreferenciamento utilizou o sistema de coordenadas do *Datum SAD 69* (Zona 25 Sul) e as cotas do terreno estão referenciadas pelo *Datum* altimétrico de Imituba. A **Figura 9.1** apresenta a distribuição dos pontos georreferenciados com as respectivas coordenadas.

Os dados de nivelamento serão utilizados também em apoio à obtenção de seções topográficas do terreno para a composição de seções hidrogeológicas, bem como para determinação das cargas hidráulicas e elaboração de mapas potenciométricos.

Tabela 9.3. Dados do levantamento topográfico						
Id_Servmar	Coord E	Coord S	Cota1	$\Delta h1$	$\Delta h2$	Cota2
CRM0012	245.362,580	9.379.556,131	24,415	0,15	0,30	24,72
CRM0031	224.439,399	9.383.693,157	54,149	0,03	0,32	54,46
CRM0069	234.174,027	9.381.674,427	8,381	0,08	0,31	8,69
CRM0146	236.326,157	9.388.922,942	44,729	0,05	0,09	44,82
CRM0174	241.078,813	9.380.500,466	3,767	0,09	0,76	4,53
CRM0325	238.121,527	9.375.105,555	8,951	0,25	0,30	9,25
CRM0411	252.982,386	9.382.090,088	2,724	0,05	0,20	2,92
CRM0416	228.589,089	9.373.298,237	30,568	0,24	0,15	30,71
CRM0422	226.733,621	9.368.495,646	76,984	0,17	0,26	77,24
CRM0424	226.371,685	9.369.305,173	72,352	0,20	0,55	72,90
CRM0466	226.737,788	9.387.709,000	86,352	0,21	0,30	86,65
CRM0484	231.897,818	9.368.220,733	90,140	0,17	0,19	90,33
CRM0485	226.580,120	9.367.839,644	73,293	0,01	0,10	73,39
CRM0489	237.138,736	9.368.136,063	61,314	0,18	0,29	61,60
CRM0490	228.734,763	9.373.381,278	23,334	0,06	0,05	23,38
CRM0548	243.273,820	9.386.334,547	26,381	-0,25	0,00	26,38
CRM0549	224.462,739	9.378.343,907	18,922	0,18	0,29	19,21
CRM0552	243.694,845	9.390.920,863	19,039	0,14	0,37	19,41
CRM0553	243.602,678	9.390.958,295	20,550	0,08	0,36	20,91
CRM0554	243.646,419	9.390.941,296	19,576	0,08	0,30	19,87

Tabela 9.3. Dados do levantamento topográfico (continuação)						
Id_Servmar	Coord E	Coord S	Cota1	Δh1	Δh2	Cota2
CRM0555	237.601,469	9.367.384,214	67,755	0,24	0,70	68,46
EXT0021	246.005,388	9.372.861,232	42,932	0,07	0,10	43,03
EXT0183	256.529,930	9.370.085,030	3,596	0,00	0,00	3,60
EXT0221	239.664,387	9.364.807,359	39,396	0,19	0,25	39,64
EXT0222	243.938,583	9.368.206,740	7,795	0,06	0,15	7,95
EXT0272	253.869,569	9.370.616,098	8,031	0,21	0,20	8,23
EXT0273	247.578,356	9.372.126,986	44,000	0,13	0,08	44,08
EXT0274	247.583,762	9.372.225,895	44,053	0,15	0,39	44,44
EXT0275	247.607,058	9.372.190,835	44,528	0,14	0,41	44,94
MAC0234	244.304,736	9.350.660,735	57,366	0,11	0,19	57,56
MAC0253	237.359,206	9.346.617,390	33,381	0,03	0,24	33,62
MAC0328	242.018,542	9.351.315,822	9,025	0,28	0,35	9,38
MAC0333	235.687,872	9.343.246,549	57,648	0,29	0,39	58,04
MAC0341	219.704,382	9.343.417,236	114,615	0,00	0,68	115,30
MAC0353	237.359,206	9.346.617,390	33,381	0,18	0,25	33,63
MTA0042	234.256,236	9.329.734,320	95,762	0,12	0,10	95,86
MTA0049	239.913,792	9.325.624,209	89,143	0,00	0,34	89,48
MTA0062	238.560,239	9.320.293,444	110,666	0,17	0,25	110,92
MTA0118	240.052,121	9.327.584,122	71,430	0,14	0,40	71,83
MTA0120	244.409,946	9.329.358,208	35,815	0,16	0,40	36,22
NAT0345	253.589,057	9.350.034,413	26,098	0,10	0,30	26,40
NAT0446	256.132,648	9.358.759,526	12,972	0,03	0,05	13,02
NAT0452	249.477,958	9.354.479,860	49,647	0,18	0,30	49,95
NAT0553	253.227,091	9.351.082,108	33,285	0,22	0,30	33,59
NAT0571	259.411,353	9.348.513,477	37,578	0,17	0,30	37,88
NAT0576	258.185,232	9.348.151,379	34,231	0,21	0,30	34,53
NAT0581	252.168,164	9.363.053,834	41,816	0,04	0,30	42,12
NAT0590	253.780,178	9.357.593,129	42,088	0,20	0,50	42,59
NAT0594	252.169,200	9.352.871,342	38,890	0,16	0,40	39,29
NAT0598	258.341,260	9.354.742,301	7,082	0,17	0,30	7,38
NAT0614	256.926,172	9.363.264,418	1,698	0,00	0,00	1,70

Tabela 9.3. Dados do levantamento topográfico (continuação)						
Id_Servmar	Coord E	Coord S	Cota1	Δh1	Δh2	Cota2
NAT0616	257.726,719	9.349.154,198	30,540	-0,02	0,00	30,54
NAT0618	257.726,719	9.349.154,198	30,540	-0,05	0,00	30,54
NAT0619	257.726,719	9.349.154,198	30,540	0,00	0,00	30,54
NAT0624	247.370,450	9.362.273,087	51,383	0,26	0,60	51,98
NAT0634	253.433,887	9.365.114,401	12,357	0,15	0,30	12,66
NAT0637	248.964,413	9.367.633,691	19,621	0,10	0,25	19,87
NAT0639	249.538,801	9.366.278,377	35,105	0,05	0,10	35,21
NAT0645	250.272,032	9.362.416,504	41,489	0,14	0,30	41,79
NAT0646	251.311,027	9.363.060,640	44,648	0,15	0,30	44,95
NAT0649	247.322,946	9.353.578,591	8,337	0,40	0,30	8,64
NAT0652	250.039,495	9.368.248,290	10,177	0,20	0,40	10,58
NAT0654	252.648,147	9.365.623,606	31,769	0,12	0,20	31,97
NAT0791	254.120,405	9.354.073,856	67,002	0,21	0,50	67,50
NAT1473	258.530,465	9.350.130,307	43,445	0,03	0,27	43,72
NAT1755	252.022,791	9.355.342,797	38,715	0,26	0,15	38,87
NAT1769	254.787,792	9.355.354,297	27,294	0,11	0,40	27,69
NAT1780	256.269,349	9.356.275,557	27,580	0,11	0,40	27,98
NAT1814	255.413,869	9.350.375,175	38,677	0,00	0,24	38,92
NAT1841	256.013,682	9.352.370,742	37,807	0,20	0,60	38,41
NAT1868	251.252,161	9.355.656,217	48,532	0,30	0,30	48,83
NZF0103	267.262,725	9.329.625,711	22,096	0,24	0,40	22,50
NZF0119	256.512,095	9.327.922,184	51,196	0,30	0,40	51,60
NZF0347	260.628,487	9.340.630,639	21,720	0,40	0,70	22,42
NZF0390	265.839,847	9.337.719,469	1,993	0,07	0,20	2,19
NZF0404	261.397,917	9.335.269,384	35,277	0,16	0,28	35,55
NZF0405	261.462,276	9.335.256,240	35,974	0,18	0,41	36,38
NZF0406	261.511,086	9.335.246,513	35,652	0,18	0,45	36,10
NZF_PZ1	254.646,869	9.331.438,150	40,139	0,10	0,10	40,24
NZF_PZ2	258.033,187	9.334.435,273	40,346	0,13	0,20	40,55
NZF_PZ3	258.032,723	9.334.431,547	40,637	0,10	0,20	40,84

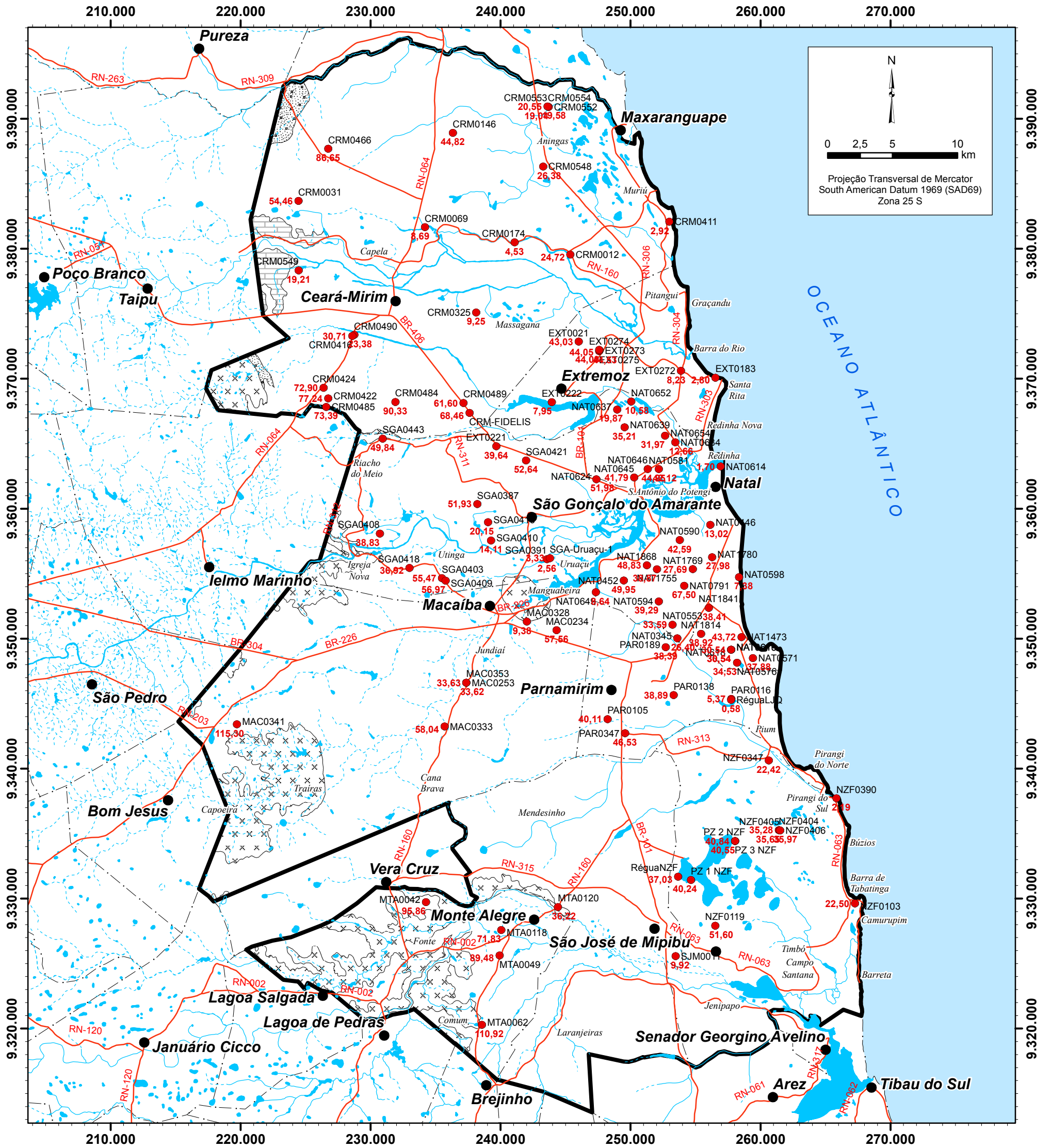
Tabela 9.3. Dados do levantamento topográfico (continuação)						
Id_Servmar	Coord E	Coord S	Cota1	$\Delta h1$	$\Delta h2$	Cota2
PAR0105	248.222,881	9.343.810,056	39,714	0,09	0,40	40,11
PAR0116	257.740,053	9.345.367,120	4,867	0,45	0,50	5,37
PAR0138	253.313,754	9.345.658,847	38,591	0,14	0,30	38,89
PAR0189	252.702,095	9.349.346,466	38,389	0,00	0,00	38,39
PAR0347	249.579,527	9.342.729,332	46,230	0,08	0,30	46,53
SGA0387	238.199,980	9.360.359,870	51,632	0,23	0,30	51,93
SGA0391	243.561,297	9.356.115,282	2,037	0,00	0,52	2,56
SGA0403	235.479,627	9.354.663,937	55,209	0,21	0,27	55,47
SGA0408	230.703,417	9.358.088,023	38,246	0,38	0,58	38,83
SGA0409	235.760,010	9.354.469,188	56,771	0,26	0,20	56,97
SGA0410	239.255,411	9.357.558,623	13,613	0,25	0,50	14,11
SGA0415	239.029,673	9.358.971,826	19,937	0,22	0,21	20,15
SGA0418	232.984,922	9.355.442,717	36,623	0,40	0,30	36,92
SGA0421	241.946,727	9.363.722,451	52,234	0,27	0,41	52,64
SGA0443	230.924,929	9.365.396,919	49,385	0,33	0,45	49,84
SGA0472	243.792,741	9.356.195,013	3,032	0,14	0,30	3,33
SJM0011	253.463,198	9.325.580,473	5,186	0,41	0,09	5,28
RéguaLJQ	257.734,542	9.345.293,599	2,979	0,00	-0,38	2,60
RéguaNZF	253.656,905	9.331.686,760	36,030	0,00	1,00	37,03

Cota1: Cota altimétrica do terreno obtida com GPS Geodésico (m).

$\Delta h1$: Distância entre a boca do poço e ranhura (m).

$\Delta h2$: distância entre a ranhura e a superfície do terreno (m).

Cota2: cota altimétrica da ranhura obtida pelo cálculo de Cota1+Ah2 (m).



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo
- NAT1443
- Pontos com leituras de cota topográfica
- 23,45

Geologia

- ▭ Formação Jandaíra
- ▭ Formação Açú
- ▭ Embasamento cristalino
- Contato geológico

Figura 9.1. Nivelamento topográfico da rede de monitoramento de nível d'água na Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



10 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA

Em todos os poços da rede de monitoramento quantitativa foram medidos o nível d'água após a realização do nivelamento topográfico. As medidas de nível d'água foram realizadas em duas campanhas, a primeira ocorreu entre os dias 04 a 29 de novembro de 2011 e a segunda de 03 a 13 de março de 2012.

Para a tomada das profundidades de nível d'água dos poços foi utilizado o Medidor Eletrônico (sonoro) de Nível de Água, com fita de 100 m graduada a cada 5 mm.

A primeira campanha correspondeu ao monitoramento de níveis mais altos do aquífero, em resposta às precipitações pluviométricas ocorridas, sobretudo nos meses de maio a agosto de 2011, mas que nesse ano apresentaram ocorrências ainda nos meses de setembro e outubro. O monitoramento de março de 2012 correspondeu às medições dos níveis d'água em resposta ao período de estiagem.

A comparação entre as duas campanhas de monitoramento permite avaliar a tendência de comportamento do aquífero em resposta às variações sazonais dos períodos, que será discutido no Capítulo 11 deste relatório, que apresenta o mapa potenciométrico da RMN.

As cargas hidráulicas obtidas com essa campanha de monitoramento de nível d'água serão utilizadas para a elaboração do mapa potenciométrico a ser apresentado no Capítulo 11 a seguir.

Ainda que a situação desejável fosse realizar as medições de níveis estáticos dos poços, nem sempre foi possível controlar o funcionamento dos poços com os respectivos proprietários, em consonância com a logística de monitoramento.

Na primeira campanha de monitoramento quantitativo, o menor valor de nível d'água a partir do terreno foi de 0,34 m e o maior foi de 53,48 m e na segunda campanha as medições de nível d'água variaram entre 0,39 e 56,32 m. Deve-se salientar, no entanto, que, nas duas campanhas, o valor mais profundo foi obtido em mediação a um nível dinâmico de um poço que estava em operação no momento da medição. Em dois poços foi verificado artesianismo, em Macaíba e Ceará-Mirim, ambos situados em zonas de descarga do aquífero Barreiras.

Em relação às cargas hidráulicas calculadas nas duas campanhas da RMN, os valores variaram de 106,58 a -35,50 m na primeira campanha de monitoramento quantitativo e entre 108,20 e -15,43 m na segunda.

Apesar da grande amplitude, os dados mostraram-se compatíveis com as condições hidrogeológicas que se encontravam. As cargas hidráulicas mais elevadas estão situadas na parte oeste da área de estudo, em geral, nos domínios das rochas cristalinas e nas áreas de recarga do aquífero Barreiras, enquanto as cargas hidráulicas mais baixas estão situadas na região leste da área, principalmente próximas às drenagens e nas regiões de escoamento difuso. As cargas hidráulicas negativas, sobretudo as de maiores valores negativos, estão associadas a poços em operação e, desse modo, correspondem a níveis dinâmicos desses poços.

A **Tabela 10.1** apresenta os dados das duas campanhas de monitoramento quantitativo. Nela estão a relação dos pontos da rede de monitoramento quantitativa com as datas de realização das medições, seus respectivos valores de nível d'água medido a partir da superfície do terreno e carga hidráulica calculada.

A **Figura 10.1** apresenta a distribuição dos pontos da rede de monitoramento quantitativa com seus valores de carga hidráulica tanto da primeira como da segunda campanha.

Tabela 10.1. Dados das campanhas de monitoramento quantitativo

Id_Servmar	1ª Campanha					2ª Campanha				
	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)
CRM0012	07/11/2011	Operando	S	23,93	0,93	06/03/2012	Operando	S	25,02	-0,16
CRM0031	05/11/2011	Paralisado	N	4,83	49,66	06/03/2012	Paralisado	N	6,1	48,39
CRM0069	05/11/2011	Operando	S	5,55	3,22	06/03/2012	Operando	S	11	-2,23
CRM0146	05/11/2011	Operando	N	22,90	21,97	09/03/2012	Operando	N	23,83	21,04
CRM0174	07/11/2011	Paralisado	N	jorrante	>4,62	06/03/2012	Paralisado	N	jorrante	>4,62
CRM0325	15/11/2011	Operando	N	3,68	5,82	06/03/2012	Operando	N	3,75	5,75
CRM0411	15/11/2011	Paralisado	N	3,86	-0,89	06/03/2012	Paralisado	N	0,1	2,87
CRM0416	27/11/2011	Operando	N	7,98	22,97	07/03/2012	Operando	N	8,15	22,80
CRM0422	27/11/2011	Operando	N	6,50	70,91	07/03/2012	Paralisado	N	7,05	70,36
CRM0424	27/11/2011	Operando	N	2,88	70,22	07/03/2012	Paralisado	N	3,15	69,95
CRM0466	09/11/2011	Paralisado	N	40,35	46,51	06/03/2012	Paralisado	N	40,95	45,91
CRM0484	04/11/2011	Paralisado	N	32,88	57,62	07/03/2012	Paralisado	N	32,51	57,99
CRM0485	04/11/2011	Paralisado	N	7,67	65,73	07/03/2012	Paralisado	N	8,47	64,93
CRM0489	09/11/2011	Paralisado	N	22,65	39,12	06/03/2012	Paralisado	N	22,98	38,79
CRM0490	04/11/2011	Paralisado	N	2,92	20,52	07/03/2012	Paralisado	N	3,08	20,36
CRM0548	07/11/2011	Paralisado	N	11,20	14,93	06/03/2012	Paralisado	N	12,34	13,79
CRM0549	05/11/2011	Operando	N	2,00	17,38	07/03/2012	Operando	N	2,98	16,40
CRM0552	23/11/2011	Paralisado	N	12,48	7,06	07/03/2012	Paralisado	N	14,11	5,43
CRM0553	23/11/2011	Paralisado	N	12,90	8,09	07/03/2012	Paralisado	N	14,87	6,12
CRM0554	23/11/2011	Paralisado	N	13,56	6,39	07/03/2012	Paralisado	N	13,71	6,24
CRM0555	27/11/2011	Operando	N	32,53	36,17	07/03/2012	Operando	N	22,95	45,75
EXT0021	07/11/2011	Operando	S	34,43	8,67	07/03/2012	Paralisado	N	35,07	8,03

Tabela 10.1. Dados das campanhas de monitoramento quantitativo (continuação)

Id_Servmar	1ª Campanha					2ª Campanha				
	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)
EXT0183	28/11/2011	Operando	N	1,78	1,82	05/03/2012	Operando	N	2,09	1,51
EXT0221	04/11/2011	Paralisado	N	21,88	17,95	07/03/2012	Paralisado	N	20,69	19,14
EXT0222	15/11/2011	Paralisado	N	2,66	5,35	07/03/2012	Paralisado	N	2,76	5,25
EXT0272	09/11/2011	Operando	S	43,94	-35,50	07/03/2012	Operando	N	8,95	-0,51
EXT0273	24/11/2011	Paralisado	N	35,36	8,85	07/03/2012	Paralisado	N	37,09	7,12
EXT0274	24/11/2011	Paralisado	N	35,45	9,14	07/03/2012	Paralisado	N	37,09	7,50
EXT0275	24/11/2011	Paralisado	N	35,19	9,89	Sem acesso				
MAC0234	06/11/2011	Paralisado	N	28,40	29,27	03/03/2012	Paralisado	N	29,81	27,86
MAC0253	06/11/2011	Paralisado	N	24,55	9,10	05/03/2012	Paralisado	N	29,73	3,92
MAC0328	09/11/2011	Paralisado	N	jorrante	>9,66	07/03/2012	Paralisado	N	jorrante	>9,66
MAC0333	06/11/2011	Operando	N	3,23	55,10	05/03/2012	Operando	N	4,86	53,47
MAC0341	28/11/2011	Operando	N	8,72	106,58	05/03/2012	Operando	N	9,51	105,79
MAC0353	06/11/2011	Operando	N	0,76	33,04	05/03/2012	Operando	N	0,81	32,99
MTA0042	08/11/2011	Operando	N	13,62	82,36	09/03/2012	Paralisado	N	14,41	81,57
MTA0049	08/11/2011	Operando	N	3,32	86,16	04/03/2012	Operando	N	11,35	78,13
MTA0062	08/11/2011	Paralisado	N	1,57	109,51	04/03/2012	Operando	N	2,88	108,20
MTA0118	27/11/2011	Operando	N	11,98	59,99	09/03/2012	Operando	S	16,95	55,02
MTA0120	08/11/2011	Operando	N	4,97	31,41	04/03/2012	Operando	N	6,6	29,78
NAT0345	12/11/2011	Operando	N	16,87	9,63	13/03/2012	Operando	N	17,97	8,53
NAT0446	18/11/2011	Paralisado	N	5,67	7,38	05/03/2012	Operando	N	5,93	7,11
NAT0452	14/11/2011	Operando	S	36,51	13,62	13/03/2012	Operando	S	39,27	10,86
NAT0553	12/11/2011	Paralisado	N	20,14	13,67	05/03/2012	Paralisado	N	22,11	11,70

Tabela 10.1. Dados das campanhas de monitoramento quantitativo (continuação)

Id_Servmar	1ª Campanha					2ª Campanha				
	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)
NAT0571	14/11/2011	Operando	S	42,20	-4,15	13/03/2012	Operando	S	53,48	-15,43
NAT0576	16/11/2011	Paralisado	N	19,49	15,25	13/03/2012	Paralisado	N	22,43	12,31
NAT0581	28/11/2011	Operando	S	40,22	1,94	13/03/2012	Operando	S	53,55	-11,39
NAT0590	12/11/2011	Paralisado	N	23,51	19,28	13/03/2012	Paralisado	N	24,39	18,40
NAT0594	12/11/2011	Paralisado	N	16,42	23,03	05/03/2012	Operando	N	18,91	20,54
NAT0598	16/11/2011	Paralisado	N	10,25	-2,70	05/03/2012	Paralisado	N	10,37	-2,82
NAT0614	16/11/2011	Paralisado	N	1,22	0,48	05/03/2012	Paralisado	N	1,15	0,55
NAT0616	10/11/2011	Paralisado	N	5,43	25,09	05/03/2012	Operando	N	3,21	27,31
NAT0618	10/11/2011	Paralisado	N	5,39	25,10	05/03/2012	Operando	N	3,17	27,32
NAT0619	10/11/2011	Paralisado	N	19,12	11,42	05/03/2012	Operando	N	22,19	8,35
NAT0624	13/11/2011	Paralisado	N	30,34	21,90	13/03/2012	Paralisado	N	31,78	20,46
NAT0634	13/11/2011	Operando	S	26,89	-14,08	13/03/2012	Operando	S	27,88	-15,07
NAT0637	13/11/2011	Paralisado	N	12,24	7,73	09/03/2012	Paralisado	N	13,43	6,54
NAT0639	13/11/2011	Paralisado	N	23,21	12,05	09/03/2012	Paralisado	N	24,89	10,37
NAT0645	13/11/2011	Paralisado	N	24,19	17,74	13/03/2012	Paralisado	N	26,02	15,91
NAT0646	13/11/2011	Operando	S	44,09	1,01	13/03/2012	Operando	S	47,11	-2,01
NAT0649	28/11/2011	Paralisado	N	7,32	1,72	05/03/2012	Paralisado	N	7,51	1,53
NAT0652	13/11/2011	Paralisado	N	7,29	3,49	07/03/2012	Paralisado	N	7,61	3,17
NAT0654	13/11/2011	Paralisado	N	26,80	5,29	13/03/2012	Operando	S	45,66	-13,57
NAT0791	14/11/2011	Operando	S	54,19	13,52	13/03/2012	Operando	S	57,03	10,68
NAT1473	10/11/2011	Paralisado	N	40,63	3,11	05/03/2012	Paralisado	N	42,23	1,52
NAT1755	14/11/2011	Paralisado	N	10,49	28,64	05/03/2012	Paralisado	N	12,02	27,11

Tabela 10.1. Dados das campanhas de monitoramento quantitativo (continuação)

Id_Servmar	1ª Campanha					2ª Campanha				
	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)
NAT1769	14/11/2011	Paralisado	N	10,66	17,14	Sem acesso				
NAT1780	14/11/2011	Operando	S	33,03	-4,94	13/03/2012	Operando	S	33,34	-5,25
NAT1814	14/11/2011	Paralisado	N	20,84	18,08	Sem acesso				
NAT1841	14/11/2011	Paralisado	N	20,24	18,37	13/03/2012	Paralisado	N	25,79	12,82
NAT1868	10/11/2011	Paralisado	N	27,94	21,19	06/03/2012	Paralisado	N	0,1	49,03
NZF0103	11/11/2011	Operando	S	35,09	-12,35	13/03/2012	Paralisado	N	18,62	4,12
NZF0119	11/11/2011	Paralisado	N	14,87	37,03	03/03/2012	Paralisado	N	17,16	34,74
NZF0347	27/11/2011	Operando	N	23,68	-0,86	03/03/2012	Operando	N	24,58	-1,76
NZF0390	27/11/2011	Operando	N	5,07	-2,81	05/03/2012	Operando	N	4,37	-2,11
NZF0404	18/11/2011	Paralisado	N	1,39	34,32	05/03/2012	Paralisado	N	2,56	33,15
NZF0405	18/11/2011	Paralisado	N	1,90	34,66	05/03/2012	Paralisado	N	3,36	33,20
NZF0406	18/11/2011	Paralisado	N	1,41	34,87	05/03/2012	Paralisado	N	2,97	33,31
NZF_PZ1	17/11/2011	Paralisado	N	9,51	30,83	03/03/2012	Paralisado	N	10,17	30,17
NZF_PZ2	17/11/2011	Paralisado	N	3,95	36,73	03/03/2012	Paralisado	N	4,78	35,90
NZF_PZ3	17/11/2011	Paralisado	N	4,16	36,78	03/03/2012	Paralisado	N	4,99	35,95
PAR0105	11/11/2011	Operando	S	16,55	23,65	13/03/2012	Operando	S	22,79	17,41
PAR0116	10/11/2011	Paralisado	N	6,95	-1,13	13/03/2012	Paralisado	N	7,49	-1,67
PAR0138	11/11/2011	Operando	S	21,97	17,06	13/03/2012	Operando	S	25,35	13,68
PAR0189	12/11/2011	Paralisado	N	26,92	11,47	13/03/2012	Paralisado	N	28,28	10,11
PAR0347	11/11/2011	Paralisado	N	23,19	23,42	13/03/2012	Paralisado	N	24,95	21,66
SGA0387	09/11/2011	Operando	N	15,14	37,02	07/03/2012	Operando	N	23,1	29,06
SGA0391	06/11/2011	Operando	N	2,70	-0,14	07/03/2012	Operando	S	2,75	-0,19

Tabela 10.1. Dados das campanhas de monitoramento quantitativo (continuação)

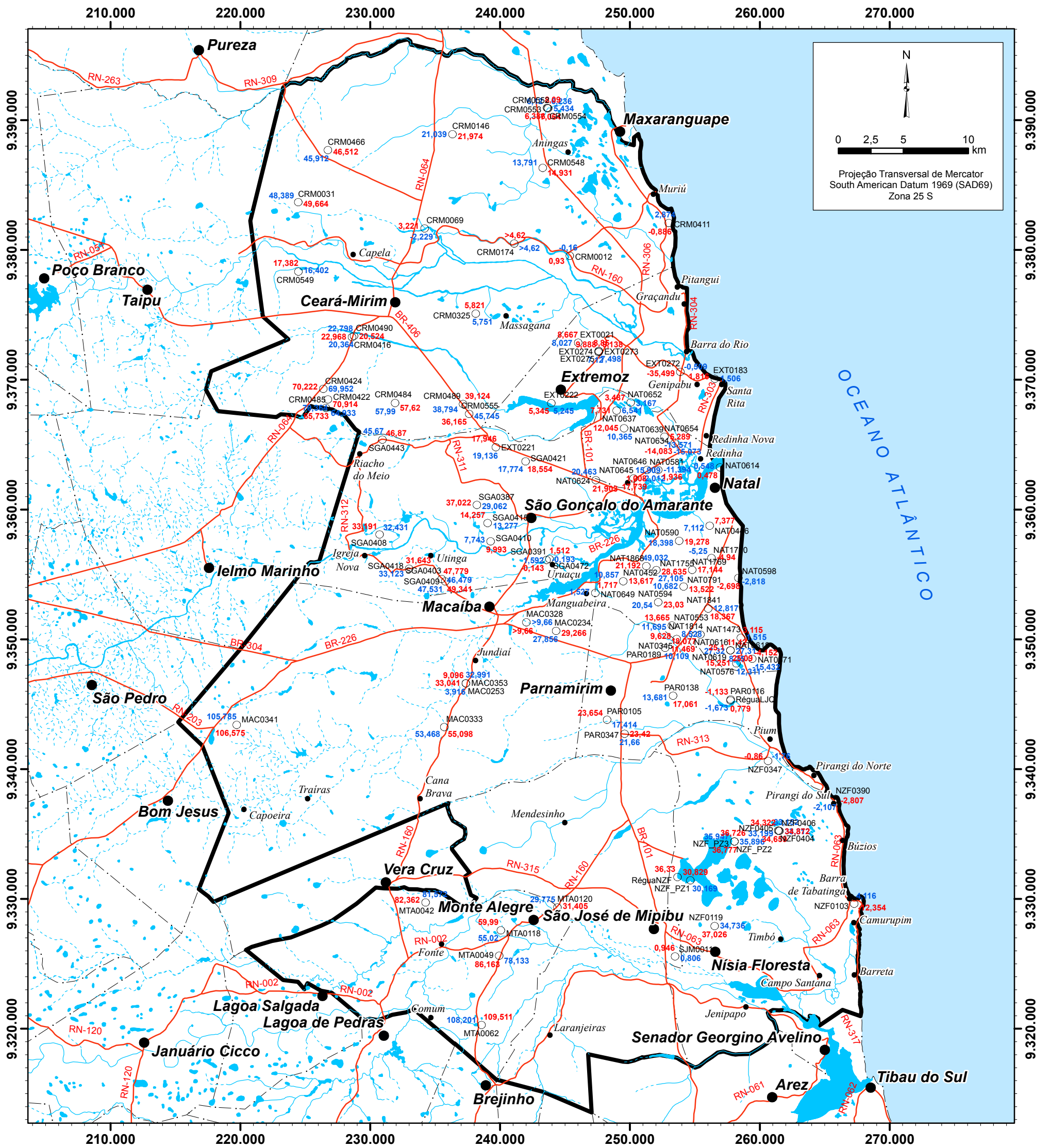
Id_Servmar	1ª Campanha – Nov/2011					2ª Campanha – Mar/2012				
	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)	Data	Situação	Fun.	N.A. (m)	h (m)
SGA0403	06/11/2011	Operando	N	7,90	47,78	09/03/2012	Operando	N	9,2	46,48
SGA0408	06/11/2011	Operando	N	6,01	33,19	09/03/2012	Operando	N	6,77	32,43
SGA0409	28/11/2011	Operando	N	7,89	49,34	09/03/2012	Operando	N	9,7	47,53
SGA0410	27/11/2011	Operando	N	4,37	9,99	07/03/2012	Operando	S	6,62	7,74
SGA0415	27/11/2011	Operando	N	6,11	14,26	07/03/2012	Operando	N	7,09	13,28
SGA0418	28/11/2011	Operando	N	5,68	31,64	09/03/2012	Operando	N	4,2	33,12
SGA0421	04/11/2011	Operando	N	34,35	18,55	09/03/2012	Operando	N	35,13	17,77
SGA0443	04/11/2011	Operando	N	3,29	46,87	09/03/2012	Paralisado	N	4,49	45,67
SGA0472	29/11/2011	Operando	N	1,96	1,51	09/03/2012	Paralisado	N	1,88	1,59
SJM0011	08/11/2011	Paralisado	N	4,74	0,95	04/03/2012	Paralisado	N	4,88	0,81
RéguaLJQ	10/11/2011	Régua	-	2,20	0,78					
RéguaNZF	17/11/2011	Régua	-	0,30	36,33					

Data: data de medição do nível de água.

Fun.: funcionamento da bomba no momento da medição (S – ligada; N – desligada).

N.A.: nível de água medido a partir da boca do poço em metros.

h: carga hidráulica calculada a partir dos dados obtidos com o nivelamento topográfico, expressa em metros.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Legenda

- 39,12 16,40 Poços do nivelamento topográfico e da rede de monitoramento de NA
- Carga hidráulica (2ª campanha - Mar 2012)
- Carga hidráulica (1ª campanha - Out/Nov 2011)

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Localização da área de estudo



Figura 10.1. Cargas hidráulicas obtidas nas duas campanhas de medição de nível d'água na Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



11 MAPA POTENCIOMÉTRICO E FLUXO SUBTERRÂNEO

O mapa potenciométrico da Região Metropolitana de Natal foi elaborado na escala 1:100.000, a partir dos dados de nível d'água e cotas obtidos no âmbito deste projeto e objetivou a caracterização do fluxo subterrâneo do Sistema Aquífero Barreiras, das relações entre as águas superficiais e as águas subterrâneas e a indicação das zonas predominantes de recarga e descarga.

O Sistema Aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Natal, tal como ocorre com os demais sistemas aquíferos livres, está limitado na sua parte superior pela própria superfície livre das águas, identificada como superfície potenciométrica, cuja morfologia está sujeita a modificações em função da recarga direta proveniente das águas de precipitação pluviométrica.

Os mapas potenciométricos são formados de curvas de igual carga de nível de água ou de igual carga potenciométrica e a configuração desses mapas permitem indicar as direções de fluxo das águas subterrâneas e as zonas preferenciais de recarga e descarga de água.

As características do movimento das águas subterrâneas podem levar a obtenção de informações importantes quanto às reservas, recarga e recursos exploráveis do sistema aquífero em avaliação. Outras informações podem ser obtidas a partir de mapas potenciométricos, tais como: conhecimento das relações hidráulicas águas subterrâneas/águas superficiais e a identificação de setores com riscos potenciais de contaminação.

11.1 Campanhas de medição do nível potenciométrico e variações de carga

Nestes estudos hidrogeológicos foram efetuadas duas campanhas de medição da profundidade dos níveis de água em 100 pontos da rede de monitoramento quantitativo, conforme apresentado no Capítulo 10 deste relatório, e realizado o nivelamento dos mesmos (Capítulo 9), visando à obtenção das cargas potenciométricas e a caracterização do fluxo subterrâneo.

A primeira campanha foi realizada em Novembro de 2011 e a segunda campanha em Março de 2012, portanto com um período de 4 meses entre os dois monitoramentos, ambos no período de estiagem. As campanhas de monitoramento, apesar de não refletirem as máximas amplitudes das variações sazonais dos níveis potenciométricos, demonstraram o rebaixamento dos níveis de água na segunda campanha e, portanto, a primeira reflete as condições de resposta do aquífero às precipitações e a segunda campanha, ocorrida após 6 meses de estiagem, reflete o período de clima seco.

A análise das variações das cargas hidráulicas e a elaboração do mapa potenciométrico contou com o refinamento dos dados de campo e desconsiderou as medidas realizadas sob influência de bombeamentos, visto que representariam rebaixamentos irreais aos níveis do aquífero, se considerados na elaboração do mapa potenciométrico nesta escala de trabalho.

A avaliação das medições mostrou que as cargas hidráulicas obtidas em 37% dos poços estavam sob influência de bombeamentos, sendo que, em 14%, o bombeamento era realizado no próprio poço, devido a limitações em desligar o equipamento pelo período necessário à estabilização do nível de água.

As variações das cargas hidráulicas nas duas campanhas tiveram amplitudes variando de 0,05 a 3,07 m, com média de 1,06 m (**Tabela 11.1**). As cargas potenciométricas nos poços foram obtidas mediante o conhecimento da profundidade do nível das águas dos mesmos em condições de equilíbrio (nível estático), e, das correspondentes cotas topográficas do terreno. Efetivamente, a carga hidráulica h em cada ponto de medição é obtida subtraindo a cota do terreno Z do correspondente nível estático (NE).

Em dois pontos de monitoramento, a variação das cargas hidráulicas entre as campanhas foi negativa, ou seja, o nível estático estava mais elevado na segunda campanha. Estes casos ocorreram em cacimbas monitoradas próximas à linha de costa e, a condição encontrada é atribuída à influência de maré. Esses poços foram considerados na elaboração do mapa potenciométrico por refletirem a condição natural da potencimetria no local.

A elaboração do mapa potenciométrico (**Figura 11.1**) foi realizada com dados de 58 pontos da rede de monitoramento, medidos na segunda campanha, que reflete o período de maior estiagem, e mais representativo do comportamento do fluxo subterrâneo. Ressalta-se, entretanto, que no mapa elaborado na escala 1:100.000 foram indicadas as cargas hidráulicas das duas campanhas e pode-se observar que as curvas potenciométricas não sofreriam modificações nesta escala de trabalho.

As interpretações acerca das condições do fluxo subterrâneo, bem como das interações com as águas superficiais serão discutidas adiante.

Tabela 11.1. Variação das cargas hidráulicas dos monitoramentos

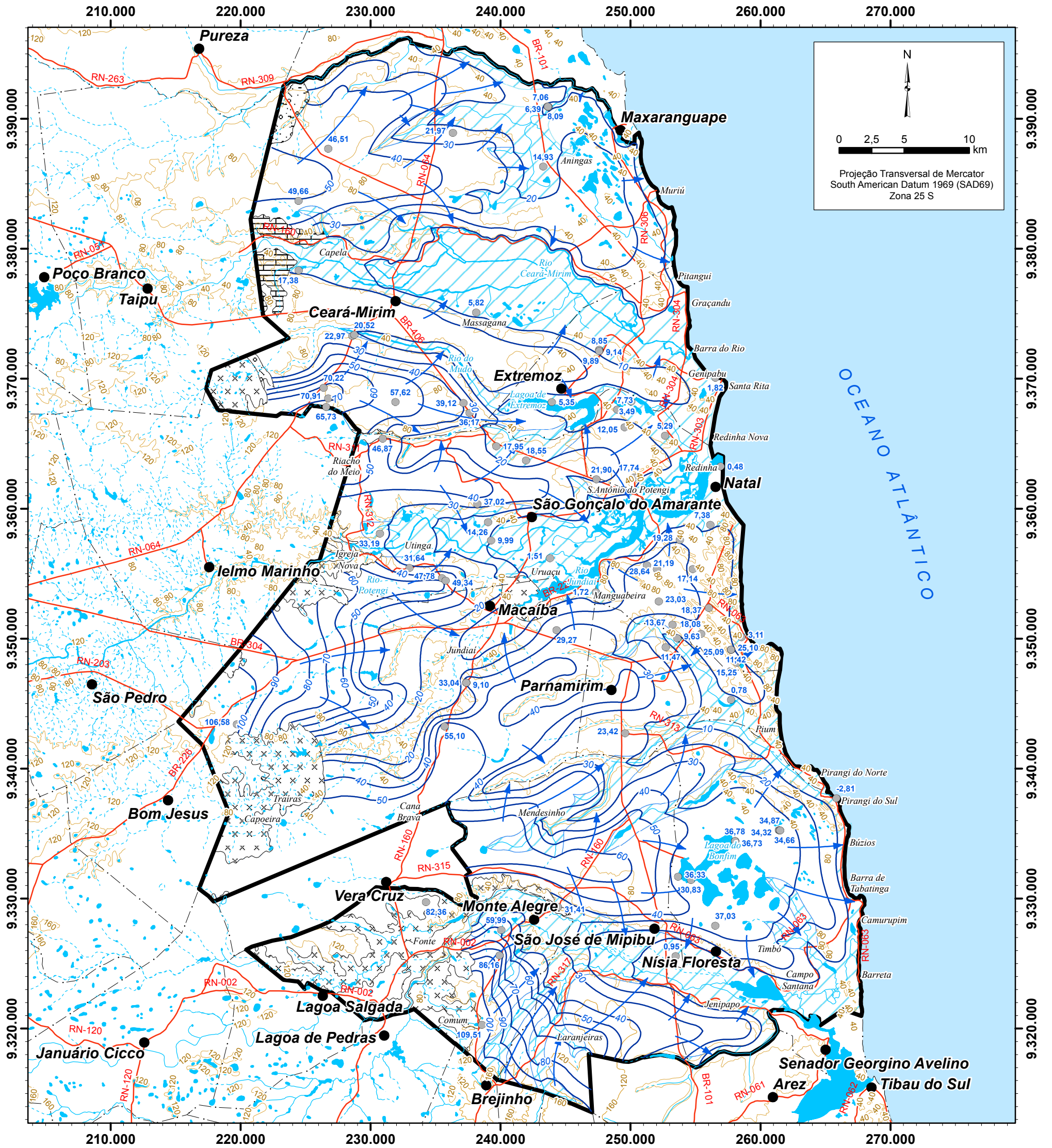
Id_Servmar	Tipo	Aquífero	Coord E	Coord S	h1 (m)	h2 (m)	Δh (m)
CRM0146	Tubular	Barreiras	236.326,157	9.388.922,942	21,97	21,04	0,93
CRM0325	Cacimba	Barreiras	238.121,527	9.375.105,555	5,82	5,75	0,07
CRM0416	Cacimba	Barreiras	228.589,089	9.373.298,237	22,97	22,80	0,17
CRM0422	Cacimba	Barreiras	226.733,621	9.368.495,646	70,91	70,36	0,55
CRM0424	Cacimba	Barreiras	226.371,685	9.369.305,173	70,22	69,95	0,27
CRM0466	Tubular	Barreiras	226.737,788	9.387.709,000	46,51	45,91	0,60
CRM0485	Piezômetro	Barreiras	226.580,120	9.367.839,644	65,73	64,93	0,80
CRM0489	Piezômetro	Barreiras	237.138,736	9.368.136,063	39,12	38,79	0,33
CRM0490	Piezômetro	Barreiras	228.734,763	9.373.381,278	20,52	20,36	0,16
CRM0548	Tubular	Barreiras	243.273,820	9.386.334,547	14,93	13,79	1,14
CRM0549	Cacimba	Barreiras	224.462,739	9.378.343,907	17,38	16,40	0,98
CRM0552	Tubular	Barreiras	243.694,845	9.390.920,863	7,06	5,43	1,63
CRM0553	Piezômetro	Barreiras	243.602,678	9.390.958,295	8,09	6,12	1,97
CRM0554	Piezômetro	Barreiras	243.646,419	9.390.941,296	6,39	6,24	0,15
EXT0183	Cacimba	Dunas/Barreiras	256.529,930	9.370.085,030	1,82	1,51	0,31
EXT0222	Piezômetro	Barreiras	243.938,583	9.368.206,740	5,35	5,25	0,10
EXT0273	Piezômetro	Barreiras	247.578,356	9.372.126,986	8,85	7,12	1,73
EXT0274	Tubular	Barreiras	247.583,762	9.372.225,895	9,14	7,50	1,64
MAC0234	Tubular	Barreiras	244.304,736	9.350.660,735	29,27	27,86	1,41
MAC0333	Cacimba	Barreiras	235.687,872	9.343.246,549	55,10	53,47	1,63

Tabela 11.1. Variação das cargas hidráulicas dos monitoramentos (continuação)

Id_Servmar	Tipo	Aquífero	Coord E	Coord S	h1 (m)	h2 (m)	Δh (m)
MAC0341	Cacimba	Barreiras	219.704,382	9.343.417,236	106,58	105,79	0,79
MAC0353	Cacimba	Barreiras	237.359,206	9.346.617,390	33,04	32,99	0,05
MTA0042	Cacimba	Barreiras	234.256,236	9.329.734,320	82,36	81,57	0,79
MTA0062	Cacimba	Barreiras	238.560,239	9.320.293,444	109,51	108,20	1,31
MTA0120	Cacimba	Barreiras	244.409,946	9.329.358,208	31,41	29,78	1,63
NAT0345	Tubular	Barreiras	253.589,057	9.350.034,413	9,63	8,53	1,10
NAT0446	Tubular	Barreiras	256.132,648	9.358.759,526	7,38	7,11	0,27
NAT0553	Tubular	Barreiras	253.227,091	9.351.082,108	13,67	11,70	1,97
NAT0576	Tubular	Barreiras	258.185,232	9.348.151,379	15,25	12,31	2,94
NAT0590	Tubular	Barreiras	253.780,178	9.357.593,129	19,28	18,40	0,88
NAT0594	Tubular	Barreiras	252.169,200	9.352.871,342	23,03	20,54	2,49
NAT0614	Cacimba	Barreiras	256.926,172	9.363.264,418	0,48	0,55	-0,07
NAT0619	Piezômetro	Barreiras	257.726,719	9.349.154,198	11,42	8,35	3,07
NAT0624	Tubular	Barreiras	247.370,450	9.362.273,087	21,90	20,46	1,44
NAT0637	Tubular	Barreiras	248.964,413	9.367.633,691	7,73	6,54	1,19
NAT0639	Tubular	Barreiras	249.538,801	9.366.278,377	12,05	10,37	1,68
NAT0645	Tubular	Barreiras	250.272,032	9.362.416,504	17,74	15,91	1,83
NAT0649	Cacimba	Barreiras	247.322,946	9.353.578,591	1,72	1,53	0,19
NAT0652	Tubular	Barreiras	250.039,495	9.368.248,290	3,49	3,17	0,32
NAT1473	Tubular	Barreiras	258.530,465	9.350.130,307	3,11	1,52	1,60

Tabela 11.1. Variação das cargas hidráulicas dos monitoramentos (continuação)							
Id_Servmar	Tipo	Aquífero	Coord E	Coord S	h1 (m)	h2 (m)	Δh (m)
NAT1755	Tubular	Barreiras	252.022,791	9.355.342,797	28,64	27,11	1,53
NZF0119	Tubular	Barreiras	256.512,095	9.327.922,184	37,03	34,74	2,29
NZF0390	Cacimba	Barreiras	265.839,847	9.337.719,469	-2,81	-2,11	-0,70
NZF0404	Tubular	Barreiras	261.397,917	9.335.269,384	34,32	33,15	1,17
NZF0405	Piezômetro	Barreiras	261.462,276	9.335.256,240	34,66	33,20	1,46
NZF0406	Piezômetro	Barreiras	261.511,086	9.335.246,513	34,87	33,31	1,56
NZF_PZ1	Piezômetro	Barreiras	254.646,869	9.331.438,150	30,83	30,17	0,66
NZF_PZ2	Piezômetro	Barreiras	258.033,187	9.334.435,273	36,73	35,90	0,83
NZF_PZ3	Piezômetro	Barreiras	258.032,723	9.334.431,547	36,78	35,95	0,83
PAR0189	Tubular	Barreiras	252.702,095	9.349.346,466	11,47	10,11	1,36
PAR0347	Tubular	Barreiras	249.579,527	9.342.729,332	23,42	21,66	1,76
SGA0403	Cacimba	Barreiras	235.479,627	9.354.663,937	47,78	46,48	1,30
SGA0408	Cacimba	Barreiras	230.703,417	9.358.088,023	33,19	32,43	0,76
SGA0409	Cacimba	Barreiras	235.760,010	9.354.469,188	49,34	47,53	1,81
SGA0415	Cacimba	Barreiras	239.029,673	9.358.971,826	14,26	13,28	0,98
SGA0421	Cacimba	Barreiras	241.946,727	9.363.722,451	18,55	17,77	0,78
SGA0443	Cacimba	Barreiras	230.924,929	9.365.396,919	46,87	45,67	1,20
SJM0011	Tubular	Barreiras	253.463,198	9.325.580,473	0,95	0,81	0,14

Coord E / Coord S: posição geográfica dada em coordenadas UTM, obtidas com GPS geodésico; h1: carga hidráulica obtida na primeira campanha de monitoramento; h2: carga hidráulica obtida na segunda campanha de monitoramento; Δh: variação das cargas hidráulicas entre as campanhas de monitoramento, calculada por h1-h2.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Legenda

- 29,14 Carga Hidráulica
- Direção do fluxo subterrâneo
- ~ Linhas equipotenciais
- Zona de descarga do SAB
- Zona de recarga do SAB
- Rios intermitentes
- ~ Rios perenes
- Lagos, lagoas, lagoas ou açudes
- ~ Curvas de nível

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Estradas pavimentadas
- Limites municipais
- Área de estudo

Geologia

- Formação Jandaíra
- Formação Açú
- Embasamento cristalino

Localização da área de estudo

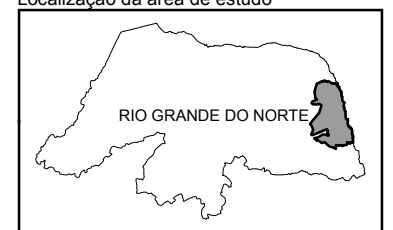


Figura 11.1. Mapa potenciométrico do SAB na RMN (out-nov de 2011)

ESTUDOS HIDROGEOLOGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



11.2 Limitações apresentadas na caracterização do fluxo subterrâneo do Sistema Aquífero Barreiras na RMN

O mapa potenciométrico elaborado neste estudo deve ser considerado como um resultado preliminar das condições de fluxo do SAB na área, devendo ser refinado a partir de campanhas de monitoramento periódicas, preferencialmente, constituindo uma série histórica de medições. Entretanto, este trabalho possui consistência sobre as condições gerais de fluxo do SAB na RMN e compatibilidade com a escala determinada para este estudo. Deve-se, porém, discutir algumas limitações avaliadas, em contribuição a futuros estudos, visando ao aperfeiçoamento deste resultado preliminar.

A seleção da rede de monitoramento considerou critérios técnicos em consonância com os termos de referência, conforme discutido no Capítulo 8. Entretanto, ocorreram limitações relacionadas ao controle operacional dos poços, sobretudo em relação a poços de abastecimento público. Essa limitação impediu que algumas medições do nível de água ocorressem em condições livres de interferência de bombeamento, do próprio poço e/ou de poços no entorno. Por essa razão, algumas medições foram eliminadas, requerendo algumas extrapolações no traçado das equipotenciais. Ressalta-se, no entanto, que nessa operação levou-se em consideração que o SAB é um sistema aquífero livre, e, assim sendo, a configuração do relevo e da rede hidrográfica contribuiu bastante na elaboração do referido mapa. As condições de fluxo apresentadas são representativas do final do período seco e início de período chuvoso.

11.3 Caracterização do fluxo subterrâneo e zonas de recarga e descarga de águas subterrâneas

A configuração das equipotenciais obtidas indica a ocorrência de fluxo subterrâneo oriundo dos tabuleiros em direção aos principais rios que drenam a área: Maxaranguape; Ceará-Mirim, Doce, Potengi, Pitimbu, Pirangi e Trairi (**Figura 11.1**). Esses são rios efluentes, ou seja, são alimentados por águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras. Nas imediações da linha de costa, o fluxo subterrâneo é sempre em direção ao mar.

As zonas de recarga, portanto, correspondem as superfícies dos tabuleiros do “Barreiras” e aos domínios com coberturas de dunas que ocorrem principalmente próximo a faixa costeira, enquanto que as zonas de descarga de água correspondem aos vales dos referidos rios (**Figura 11.1**).

Ocorre também, o escoamento superficial difuso, que condiciona a ocorrência de gradientes hidráulicos subterrâneos baixos, e, a ocorrência de lagoas, que se

verifica prioritariamente próximo à linha da costa com destaque para as lagoas nos setores oeste e sul da cidade de Maxaranguape e na região do Complexo Lagunar do Bonfim.

O comportamento geral do fluxo subterrâneo do SAB descrito acima foi confirmado a partir dos resultados isotópicos realizados neste estudo, conforme discussões apresentadas no item específico (Capítulo 8 – Volume 2). As assinaturas isotópicas do SAB apresentaram, de maneira geral, um intervalo de fracionamento específico, mas que permitiu diferenciar os fluxos regionais e locais, bem como a identificação das áreas de descargas regionais nas áreas de escoamento difuso.

As áreas de descargas delimitadas no mapa potenciométrico (**Figura 11.1**) apresentaram assinaturas isotópicas compatíveis com a mistura de fluxos locais e regionais, confirmando a descargas de fluxos proveniente das áreas de recarga à oeste da área.

A avaliação da vazão total do fluxo subterrâneo natural da Região Metropolitana de Natal foi realizada considerando-se as frentes de escoamento em direção aos principais rios que drenam a área e em direção ao mar (**Tabela 11.2**). A vazão do fluxo subterrâneo natural foi estimada a partir da lei de Darcy, conforme a seguir indicado:

$$Q = TIL \quad (16)$$

Onde:

Q é a vazão do fluxo subterrâneo natural em m³/s;

T é a transmissividade do aquífero em m²/s;

L é a frente de escoamento em km.

I é o gradiente hidráulico

A vazão total do fluxo subterrâneo corresponde ao somatório das vazões segundo as diferentes frentes de escoamento, calculadas pela equação 16 e demonstradas na **Tabela 11.2** a seguir.

Tabela 11.2. Vazão do fluxo subterrâneo

Bacia	T	I	L	Q
	(m ² /seg)	(Adm)	(km)	m ³ /s
Maxaranguape	3,4x10 ⁻³	0,010	50	1,70
Ceará-Mirim	5,0x10 ⁻⁴	0,013	63	0,41
Rio Doce	Mont. L. Extremoz	5,8x10 ⁻⁴	60	0,38
	Jus. L. Extremoz	5,1x10 ⁻³	17	0,61
	Total Rio Doce			0,99
Potengi	1,1x10 ⁻³	0,010	45	0,54
Pirangi	5,2x10 ⁻³	0,007	68	2,50
Trairi	3,8x10 ⁻³	0,008	38	1,10
Escoamento difuso	5,0x10 ⁻³	0,005	38	0,91
Total do fluxo subterrâneo				8,15

T: transmissividade; I :gradiente hidráulico; L: extensão da frente de escoamento; Q: vazão do fluxo subterrâneo natural.

Avaliação efetuada na Bacia do Rio Maxaranguape

Tomando por base as curvas potenciométricas de 20 e 30 m, foi caracterizada uma frente de escoamento de 50 km (L). De conformidade com os dados disponíveis, as transmissividades (T) do Sistema Aquífero Barreiras variam de 33 m²/dia a 603 m²/dia, com média de 294 m²/dia ou 3,4x10⁻³ m²/s. Os gradientes hidráulicos (I) variam de 0,5 a 1,5%, com média de 1%. Aplicação desses dados na equação do fluxo subterrâneo natural resulta na descarga de 1,7 m³/s. Convém ressaltar, entretanto, que está sendo considerado apenas o fluxo subterrâneo atribuído a faixa a direita do rio Maxaranguape na extremidade norte da RMN.

Avaliação efetuada na Bacia do Rio Ceará-Mirim

Neste caso, foram tomadas como referência as curvas potenciométricas de 20 e 10 m, que resultou numa frente de escoamento de 63 km (L). As transmissividades são baixas, da ordem de 50 m²/dia ou 5,0x10⁻⁴ m²/s. Os gradientes hidráulicos variam de 0,6% a 2,0%, com média de 1,3%. A aplicação desses resultados à lei de Darcy resulta numa descarga de 0,41 m³/s.

Avaliação efetuada na Bacia do Rio Doce

Para efeito de avaliação da vazão de fluxo subterrâneo natural da bacia do Rio Doce, foi considerada inicialmente a área à montante da Lagoa de Extremoz, onde as potencialidades são baixas, e, em seguida a área à jusante da lagoa de potencial hidrogeológico elevado.

A jusante da lagoa de Extremoz, tomando como referência a curvas potenciométricas de 20 m e de 10 m, foi definida uma frente de escoamento de 17 km (L). A transmissividade do aquífero neste domínio, a luz das informações disponíveis, é da ordem de 443 m²/dia ou 5,1x10⁻³ m²/s, e, o gradiente hidráulico médio é de 0,7%. Aplicando, resulta uma descarga de 0,61 m³/s.

A montante da Lagoa de Extremoz, tomando as curvas potenciométricas de 20 e 30 m, obteve-se uma frente de escoamento de 60 km. A transmissividade do aquífero é da ordem de 50,0 m²/dia ou 5,8x10⁻⁴ m²/s, e, o gradiente hidráulico de 1,1%, o que resulta em uma descarga de 0,38 m³/s.

A descarga total do fluxo subterrâneo natural na bacia do Rio Doce é o somatório das descargas parciais, portanto, são da ordem de 0,99 m³/s.

Avaliação efetuada na Bacia do Rio Potengi

A frente de escoamento atribuída ao Rio Potengi, tomando por base as curvas potenciométricas de 10, 20 e 30 m, foi de 45 km. Os valores de transmissividade variam de 1,96 m²/dia a 151,69 m²/dia, com média de 102,45 m²/dia ou 1,2x10⁻³ m²/s. O gradiente hidráulico médio é de 1%. Aplicando, resulta a descarga de 0,54 m³/s.

Avaliação efetuada na Bacia do Rio Pirangi

A frente de escoamento, na bacia do Rio Pirangi, com base nas curvas potenciométricas de 20 e 30 m, é de 68 km. A transmissividade varia de 18,83 m²/s a 943,4 m²/dia, com média de 455,35 m²/dia ou 5,3x10⁻³ m²/s. O gradiente hidráulico varia de 0,6% a 0,9%, com média de 0,7. A vazão do fluxo subterrâneo natural, pela aplicação da lei de Darcy, resulta 2,52 m³/s.

Avaliação efetuada na Bacia do Rio Trairi

Tomando como referência as curvas potenciométricas de 30 e 40 m, obteve-se a frente de escoamento de 35 km. Os valores de transmissividade variam de 0,66 m²/dia a 673,9 m³/dia, com média de 327,14 m²/dia ou 3,8x10⁻³ m²/s. O gradiente hidráulico é da ordem 0,8%. Neste caso, a vazão de fluxo subterrâneo será de 1,1 m³/s.

Avaliação efetuada na área de escoamento difuso

Os domínios com escoamento difuso abrangem principalmente a região da Lagoa do Bonfim, parte do município de Natal e a região ao sul da cidade de Maxaranguape. A frente total de escoamento considerada foi de 38 km. A

transmissividade média obtida foi de $5,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e o gradiente hidráulico médio, de 0,5%. Neste caso, resulta uma descarga de $0,95 \text{ m}^3/\text{s}$.

A vazão do fluxo subterrâneo natural obtido para as áreas de escoamento difuso é muito baixa e não expressa as potencialidades do sistema aquífero nos correspondentes domínios, onde as potencialidades hidrogeológicas são bastante elevadas. Isto se atribui aos baixos gradientes hidráulicos, pela presença de lagoas.

11.4 Relações hidráulicas das águas superficiais com as águas subterrâneas

Existe uma íntima relação entre as águas subterrâneas de sistemas aquíferos livres e as águas superficiais. No caso da RMN, os rios e riachos perenes que drenam a área são alimentados por águas subterrâneas conforme indica a configuração das equipotenciais, sugerindo condições de efluência.

Um dos mais importantes aspectos da hidrologia de lagoas é a sua interação com as águas subterrâneas (FETTER, 2001). Esta interação desempenha um papel importante no estabelecimento de balanço de água da lagoa ou de forma mais ampla no balanço hidrogeológico de uma área (SIMMERS, 1997). Lagoas podem ser classificadas hidrogeologicamente com base no domínio de águas superficiais ou subterrâneas, no balanço hidrológico anual. Lagoas com domínio de águas superficiais tipicamente tem tanto fluxo superficial de entrada como de saída, enquanto que lagoas drenantes, sem descargas de águas superficiais são plenamente alimentadas por águas subterrâneas.

A Lagoa de Extremoz, que integra o sistema de abastecimento da Zona Norte de Natal, em condições normais de precipitação pluviométrica anual, é alimentada diretamente por águas subterrâneas e por águas superficiais dos rios do Mudo e Guajiru, com fluxo superficial de saída que forma o Rio Doce. Nas estiagens prolongadas, o fluxo superficial de saída é interrompido (MELO, 2009) havendo nessas condições uma contribuição exclusiva de águas subterrâneas. A forte influência de evaporação na lagoa de Extremoz foi evidenciada pela avaliação isotópica realizada neste estudo, indicando que, apesar de receber contribuições de fluxos superficiais nos períodos chuvosos, a alimentação e a manutenção dos níveis de água dessa lagoa ocorrem predominantemente por fluxos subterrâneos.

No caso da lagoa do Jiqui, o fluxo superficial de montante e para jusante é perene, caracterizando um importante afluxo de água superficial no balanço anual. Ainda que o fluxo de água superficial seja contínuo nessa lagoa, os resultados isotópicos indicaram uma importante contribuição das águas

subterrâneas, uma vez que a assinatura isotópica das águas coincide com as os padrões encontrados no SAB.

A lagoa do Pium, dentre todas as analisadas, foi a que apresentou menor correlação isotópica com as águas subterrâneas. Esse resultado deve ser confirmado em futuras campanhas, visto que não é condizente com os demais obtidos nas lagoas analisadas, bem como com o modelo de fluxo encontrado nas bacias hidrográficas e corpos lacustres da região. Estudos anteriores, como os realizados por Lucena *et al.* (2004) evidenciaram uma ampla relação entre mananciais subterrâneos do SAB e superficiais das bacias do rio Pirangi e Pitimbu, incluindo as lagoas existentes (Pium e Jiqui). Os citados estudos calcularam contribuições de água subterrânea à margem direita da lagoa do Pium, da ordem de 224 m³/h, provenientes da região do Sistema Lacustre Bonfim.

A lagoa do Bonfim é reconhecidamente mantida por fluxos subterrâneos, conforme demonstrado por SERHID (1998b). As razões isotópicas obtidas no atual estudo não permitiram identificar a origem dos fluxos subterrâneos responsáveis pela manutenção dos níveis da lagoa, entretanto, possibilitaram inferir que a dinâmica de fluxo da lagoa é pequena, propiciando forte influência da evaporação das águas.

12 RECARGA, RESERVAS, POTENCIALIDADES, DISPONIBILIDADES E EXPLOTAÇÃO ATUAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A estimativa da recarga, reservas, potencialidades e disponibilidades das águas subterrâneas permitem a avaliação dos recursos subterrâneos exploráveis, os quais constituem uma importante informação para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos. Para se alcançar essa estimativa faz-se necessário a compreensão das características hidrogeológicas do aquífero estudado, tais como dimensões, litologia, compartimentação estrutural, parâmetros hidráulicos, entre outras.

Na RMN o SAB se constitui na fonte de suprimento hídrico com água potável mais importante, devido a sua elevada potencialidade hídrica, facilidade de captação e excelente qualidade das águas em sua condição natural. Dessa maneira, o presente capítulo expressa as potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras na RMN, as quais foram avaliadas detalhadamente a partir da integração dos resultados das investigações hidrogeológicas desenvolvidas neste estudo.

É feita uma descrição introdutória de cada unidade do sistema hidrogeológico da RMN com base nos dados do cadastro de poços consistido durante a execução deste projeto (apresentado no Capítulo 5), complementada por dados bibliográficos, quando necessário.

12.1 Os Recursos Hídricos Subterrâneos na RMN

Na avaliação dos recursos hídricos de uma área três componentes principais devem ser considerados: clima, geologia e os aspectos estruturais envolvidos, já que os mesmos influem de forma acentuada na ocorrência, distribuição e potencialidades das águas subterrâneas.

Nos aspectos climáticos, foram definidas duas zonas na abrangência da RMN, com diferentes valores de precipitação pluviométrica média, conforme discutido no Capítulo 4 (**Figura 4.13**). A zona 1, com precipitação pluviométrica média de 990 mm/ano, situada no setor ocidental da área de estudo; e a zona 2, com precipitação média anual de 1.385 mm, no setor oriental da área em apreço.

A partir dessas zonas foram avaliados os recursos potenciais das águas subterrâneas de cada um dos municípios situados na RMN e do respectivo bloco como um todo.

Conforme será apresentado e justificado posteriormente, as unidades compostas pelas dunas, coberturas recentes colúvio-eluvionares, as aluviões e a formação

Barreiras, constituem um sistema hidráulico único, designado de Sistema Aquífero Barreiras. O SAB, as rochas carbonáticas e as rochas cristalinas são, portanto, as unidades aquíferas inseridas na RMN.

As potencialidades hidrogeológicas dessas unidades estão condicionadas a ocorrência de falhamentos que se desenvolvem nas bacias hidrográficas dando como resultado maiores espessuras para o SAB no domínio dos tabuleiros e próximo a linha de costa e menores espessuras nos vales, tal como ocorre com o vale do Trairi.

12.1.1 Caracterização e uso das unidades do sistema hidrogeológico da RMN

Neste item são abordadas as unidades geológicas do sistema hidrogeológico da RMN, com informações sobre ocorrência, dimensões, litologia, estrutura e recursos explorados. Para fundamentar essas considerações, é apresentada inicialmente a metodologia utilizada na estimativa do volume de água subterrânea explorado em cada município.

Avaliação do volume de água subterrânea explorado nos municípios

A estimativa do volume de água subterrânea explorado nos municípios através dos poços de produção foi obtida com base no regime de operação dos mesmos e a partir da avaliação do cadastro compilado de poços, utilizando os dados disponíveis sobre os tipos de uso, os perfis de consumo da água subterrânea e as vazões de exploração dos poços. No cadastro foram obtidas as informações de tipo de uso, perfil de consumo e vazões de exploração dos poços, sendo necessário definir um regime de operação para os poços para então ser estimado o volume de água explorado.

Inicialmente separaram-se os poços em três grupos, com base no tipo de uso e perfil de consumo da água subterrânea: i) poços de abastecimento público de propriedade da CAERN e do SAAE; ii) poços de abastecimento público de propriedade das prefeituras ou comunidades, poços de uso industrial ou agrícola; iii) e poços com demais usos. Após essa classificação, definiu-se um regime de exploração dos poços para cada um desses grupos, com base nos critérios discutidos a seguir.

Para definição do regime de operação dos poços de abastecimento público da CAERN e do SAAE utilizou-se os dados disponibilizados de volume explorado nas captações da CAERN no ano de 2010, o número de poços em operação nas respectivas captações ou municípios e a vazão de exploração desses poços em operação, de acordo com os dados do cadastro. A **Tabela 12.1** apresenta os

dados para a determinação do regime de exploração que foram calculados através da seguinte equação:

$$R_{exp} = (V_{exp} \div Q_p) \div 365 \quad (17)$$

Onde:

R_{exp} : regime de operação dos poços (horas)

V_{exp} : Volume explotado pela captação (m^3 /ano)

Q_p : Somatória da vazão captada pelos poços de uma captação (m^3 /h)

Tabela 12.1. Dados utilizados para definição dos regimes de operação dos poços					
Município	Captação	Poços em Operação	Q_p (m^3 /h)	V_{exp} (m^3 /h)	R_{exp} (h/dia)
Natal/ZN	Pajuçara/Gramoré	11	773	6.204.191	22
	Jardim Progresso	7	301	1.974.633	18
	Lagoa Azul	3	72	639.083	24
	Santa Catarina	2	40	88.241	6
	Brasil Novo	5	120	1.319.898	30 ¹
	Solidade I	1	40	359.600	24
	Panatis II	1	25	172.627	18
	Alvorada	1	12	126.427	28 ¹
	Potengi	1	40	299.552	21
	Redinha	3	90	300.176	9
Natal/ZS	Dunas/Morro Branco	8	800	3.505.579	12
	Lagoa Nova II/ Novo Campo	19	1.545	6.768.796	12
	Lagoa Nova I	8	1.020	3.355.534	9
	Ponta Negra	13	730	3.461.726	13
	Cidade Satélite	8	545	3.391.881	17
	Candelária	6	660	4.117.071	17
	Pirangi	5	250	1.659.575	18
	San Vale	6	1.270	7.878.448	17
	Planalto	5	310	2.364.255	21
	Guarapes	2	60	502.621	24
	Dix Sept Rosado	1	45	196.660	12
	Felipe Camarão	5	110	960.063	24
	Nova Cidade	2	220	734.590	9
Parnamirim	-	52	2.475	15.362.381	17

Q_p : somatória da vazão captada pelos poços em operação; V_{exp} : volume explotado pela concessionária nas respectivas captações (dados disponibilizados pela CAERN referente ao ano de 2010); R_{exp} : regime de operação dos poços.

1 - dados incompatíveis, não utilizados na determinação do regime médio.

A partir dos dados apresentados na **Tabela 12.1** chegou-se a um regime médio de 17 h/dia para operação dos poços da CAERN nesses municípios. Esse regime foi adotado para todos os poços da CAERN e do SAAE existentes no cadastro compilado e multiplicado pelas respectivas vazões indicadas, obtendo-se então

um volume anual explotado para cada poço de produção dessas concessionárias. Para os poços de abastecimento público das concessionárias que não possuíam dado de vazão foi adotada a média obtida com os poços com dados de vazão.

Ressalva-se que a grande maioria dos poços da CAERN opera em regime de 24 h/dia, segundo a própria concessionária, entretanto, devido provavelmente a paralisações temporárias, perda da eficiência ou bombas subdimensionadas, o regime de operação obtido foi menor.

Para os poços de abastecimento público que contemplam as comunidades, povoados e assentamentos, e são de responsabilidade da prefeitura municipal ou da própria comunidade, foi admitido um regime de exploração de 6 h/dia, com base no cadastro de poços e no levantamento realizado em campo, assim como para os poços para uso industrial e agrícola. Definido o regime, foi multiplicado pela vazão indicada no cadastro e obtido o volume explotado por poço. Para os poços dessas categorias sem dados de vazão foi adotado o volume médio explotado indicado no cadastro.

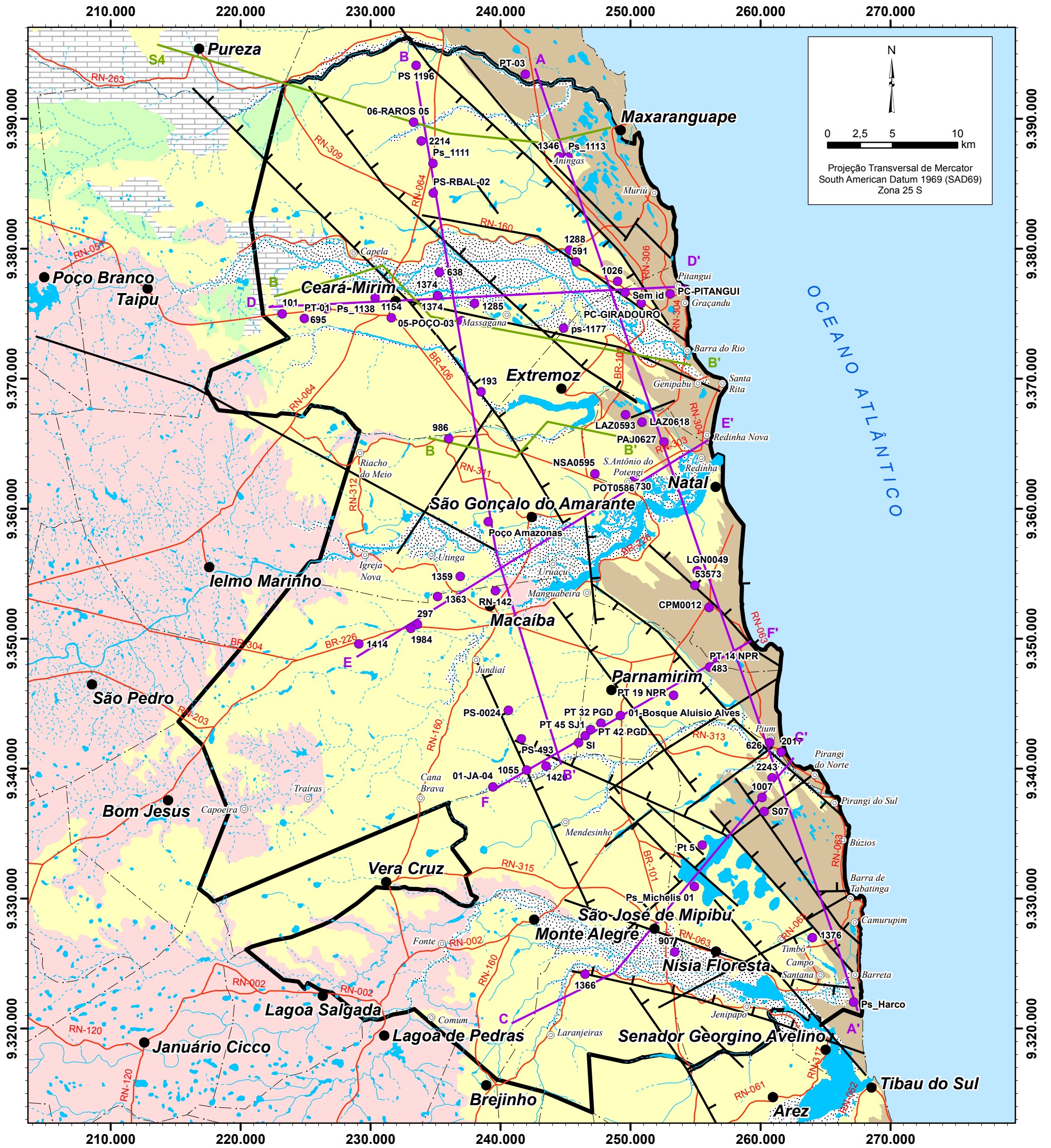
Para os poços com demais usos ou sem tipificação de uso foi adotado o regime de 4 h/dia, com base nas informações obtidas no levantamento em campo, que foi multiplicado pela vazão indicada no cadastro e obtido o volume explotado por poço. Para os poços sem dados de vazão adotou-se a média de cada poço, como nos casos anteriores. A vazão total explotada em cada município corresponde a somatória do volume retirado de todos os poços em operação do cadastro compilado (**Tabela 12.2**).

Uma breve síntese das unidades hidrogeológicas é feita a seguir. Em apoio às discussões e demonstrando as feições e correlações entre as unidades aquíferas, são apresentadas seções hidrogeológicas, cujas localizações são ilustradas na **Figura 12.1**. As seções A-A' a F-F' são apresentadas sequencialmente nas **Figuras 12.2 a 12.7**.

As seções A-A' (**Figura 12.2**) e B-B' (**Figura 12.3**) possuem direção aproximadamente N-S e, desse modo, evidenciam as compartimentações estruturais NW-SE e NE-SW de maioria oblíqua, mas, ainda assim, permitindo demonstrar a variação de espessuras dos sedimentos do SAB, associada a esses compartimentos. Notam-se, por exemplo, as maiores espessuras do SAB relacionadas ao graben de Natal, nas regiões entre o rio Doce e o rio Ceará-Mirim (**Figura 12.2**) e ao norte da área, próximo ao rio Maxaranguape (**Figuras 12.2 e 12.3**). Essas seções, entretanto, não permitem demonstrar o aumento de espessuras de oeste para leste, conforme será discutido adiante, mas que é possível de ser verificado nas demais seções, com direção NW-SE (**Figuras 12.4, 12.6 e 12.7**) e direção E-W (**Figura 12.5**).

Tabela 12.2. Características das unidades hidrogeológicas na RMN				
Município	UH	A (km ²)	W (x10 ⁶ m ³ /a)	n
Ceará-Mirim	Aluvião	110	-	-
	Dunas	101	-	-
	Barreiras*	514	14,7	447
	Rochas carbonáticas	16	0,4	33
	Açu	10	0,3	8
	Cristalino	14	0,0004	1
Extremoz	Aluvião	21		-
	Dunas	38		-
	Barreiras*	121	9,6	267
Macaíba	Aluvião	10		-
	Barreiras	256	7,6	247
	Rochas carbonáticas	-	0,1	8
	Cristalino	67	0,3	65
S. G. Amarante	Aluvião	60		-
	Barreiras	229	10,3	418
	Rochas carbonáticas	NC	0,4	29
	Cristalino	13		-
Natal	Dunas	89		-
	Barreiras*	168	84,8	1.581
	Rochas carbonáticas	NC	0,1	7
Parnamirim	Aluvião	2		-
	Dunas	25	0,04	6
	Barreiras*	116	24	306
Monte Alegre	Aluvião	15		-
	Barreiras*	126	1,7	110
	Cristalino	72	0,04	6
S J Mipibú	Aluvião	39		-
	Barreiras*	290	5,7	237
	Cristalino	6		1
Nísia Floresta	Aluvião	38		-
	Dunas	99		-
	Barreiras*	290	8,4	377
	Rochas carbonáticas	NC	0,03	3
RMN	Aluvião	295		-
	Dunas	352	0,04	6
	Barreiras*	2110	166,8	3.990
	Rochas carbonáticas	16	1	80
	Açu	10	0,3	8
	Cristalino	166	0,4	73

UH: unidades hidrogeológicas; A: área de ocorrência da unidade hidrogeológica; W: retirada de água subterrânea; n: número de poços cadastrados por UH; * área do Sistema Aquífero Barreiras incluindo aluviões e dunas



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Legenda

- Seções hidrogeológicas de estudos anteriores
- Seções hidrogeológicas elaboradas
- Perfis de poços

Unidades Hidrogeológicas

- Aluvionar
- Dunas
- Barreiras
- Jandaíra
- Açú
- Cristalino

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
 - ⊙ Povoados ou assentamentos
 - Estradas pavimentadas
 - Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
 - Rios intermitentes
 - Rios perenes
 - Limites municipais
 - Área de estudo
- Estruturas**
- / — Falha normal
 - / — Lineamentos

Localização da área de estudo



Figura 12.1. Localização das seções hidrogeológicas na Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



Figura 12.2. Seção Hidrogeológica AA'

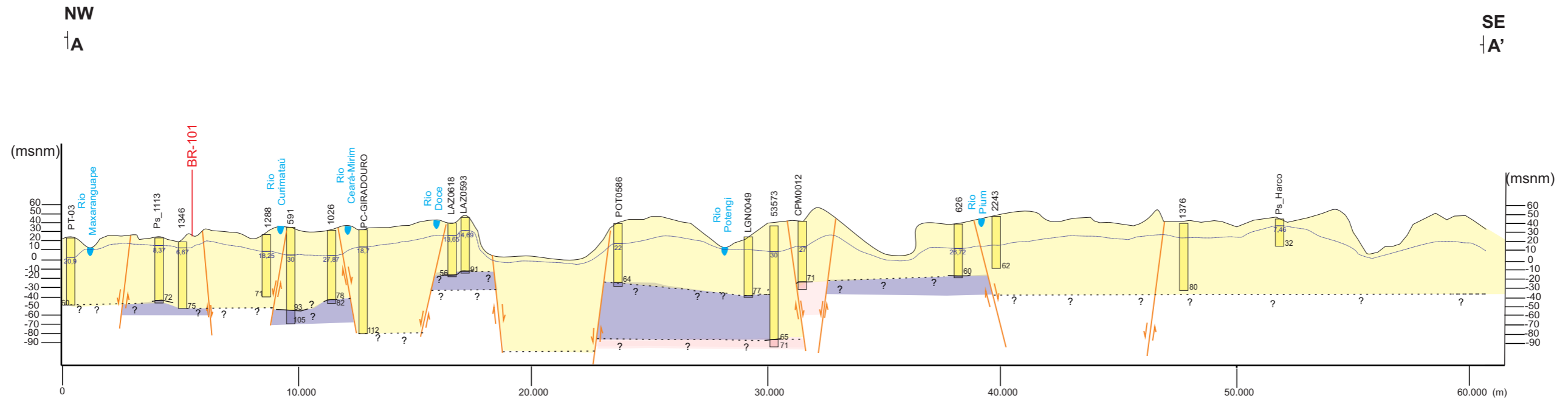
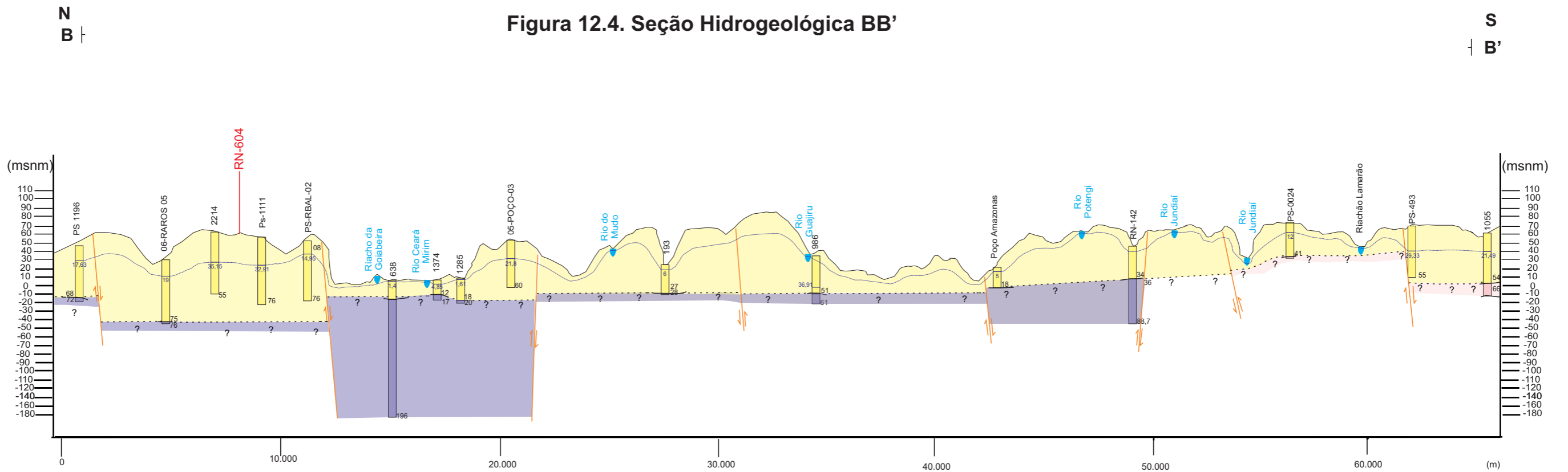


Figura 12.4. Seção Hidrogeológica BB'



Aquíferos

- Sistema Aquífero Barreiras
- Rochas carbonáticas
- Açú
- Cristalino

Geologia

- Contato definido
- Contato inferido
- Falha indicada na bibliografia

Convenção Cartográfica

- Estradas pavimentadas
- Rios, lagos, lagoas e lagoas
- Nível estático

Escala horizontal 1:200.000
Escala vertical 1:50.000

Figura 12.4. Seção Hidrogeológica CC'

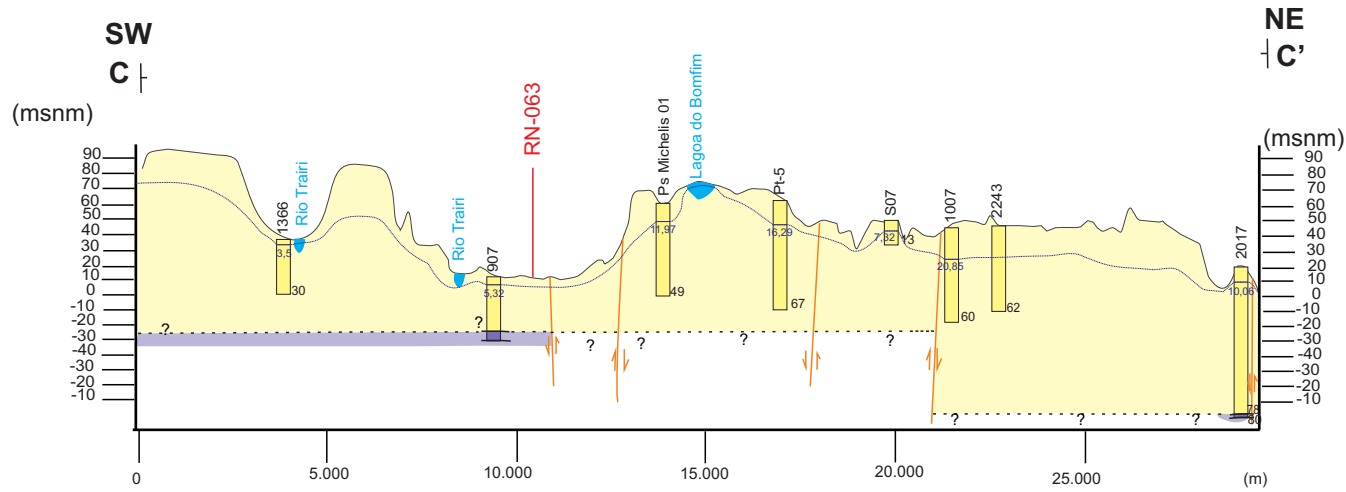
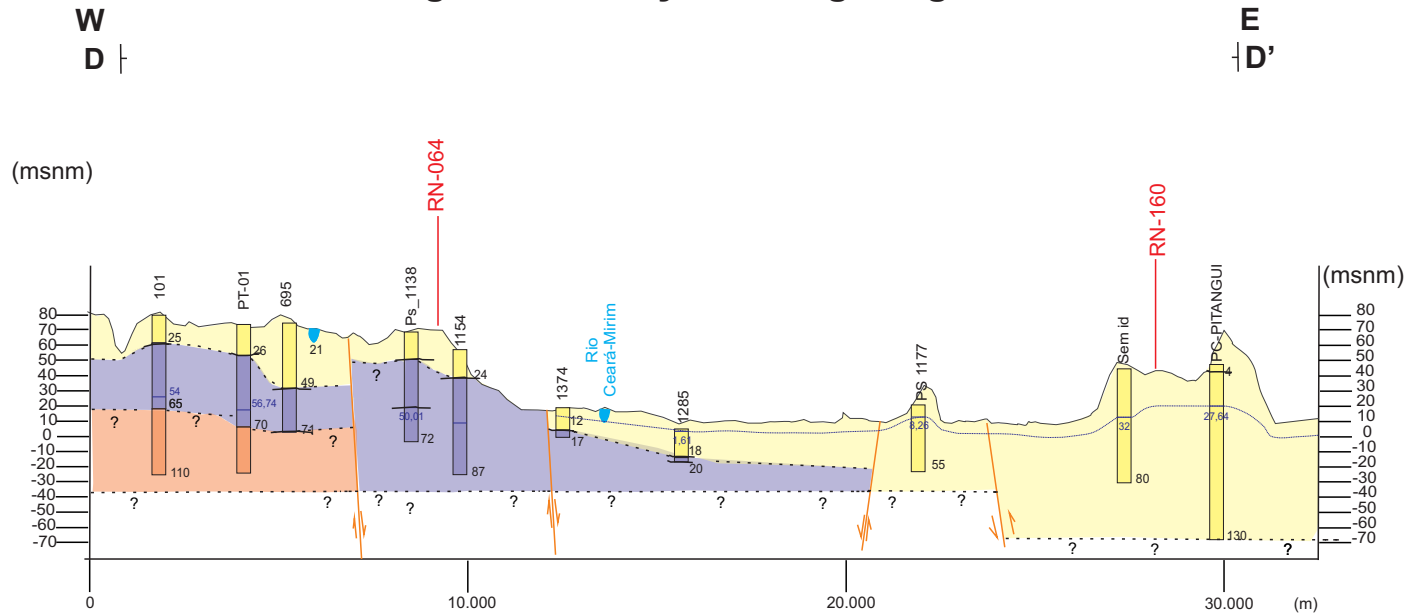


Figura 12.5. Seção Hidrogeológica DD'



Aquíferos

- Sistema Aquífero Barreiras
- Rochas carbonáticas
- Açu
- Cristalino

Geologia

- Contato definido
- Contato inferido
- Falha indicada na bibliografia

Convenção Cartográfica

- Estradas pavimentadas
- Rios, lagos, lagoas e lagoas
- Nível estático

Escala horizontal 1:200.000
Escala vertical 1:50.000

Figura 12.6. Seção Hidrogeológica EE'

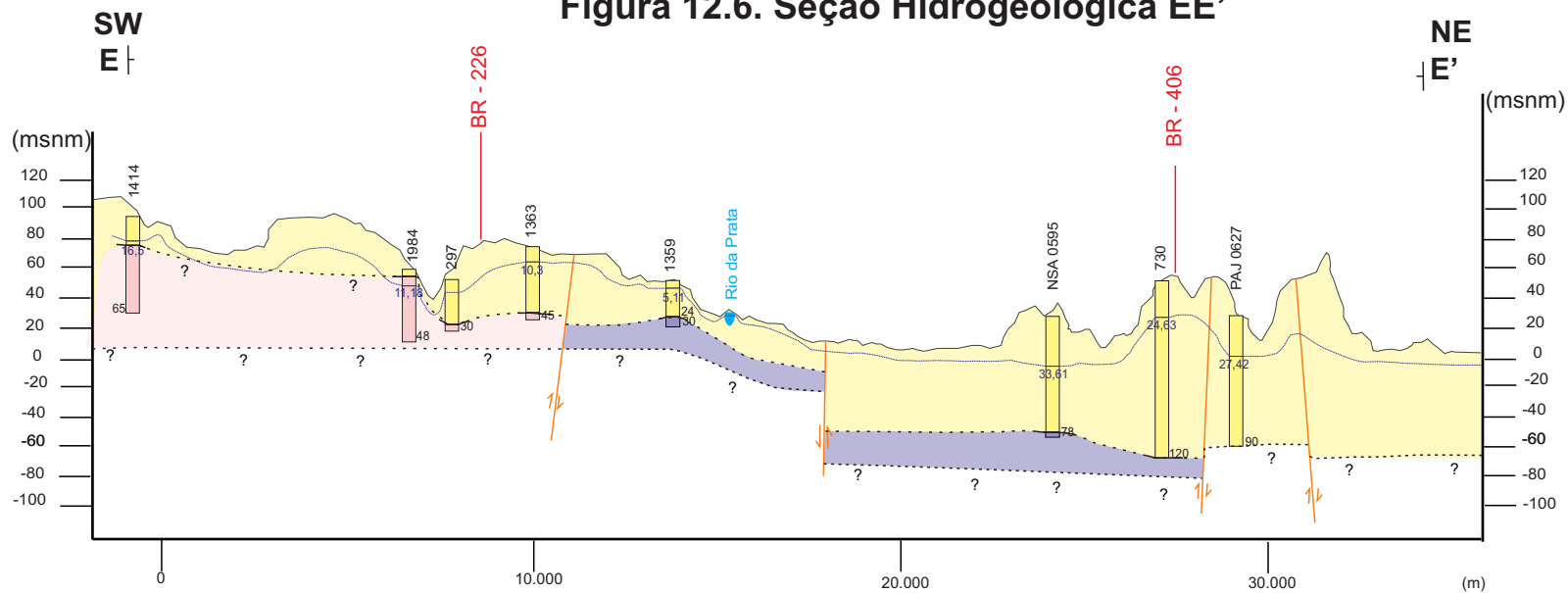
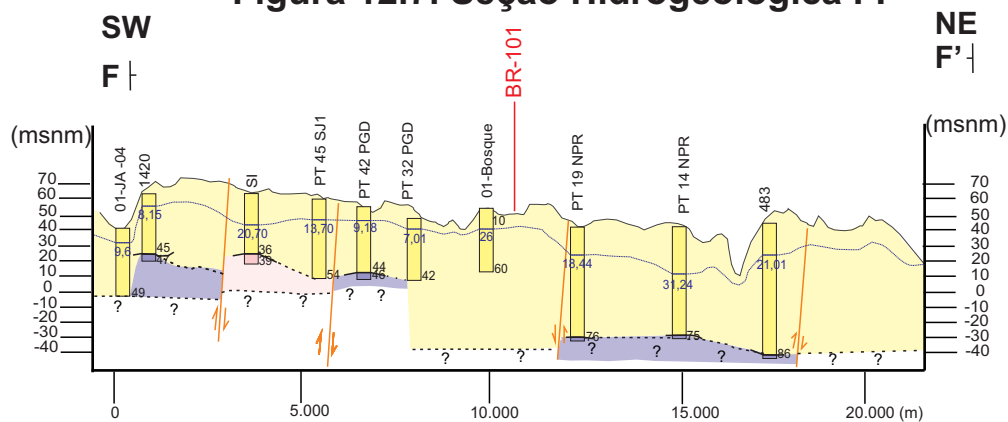


Figura 12.7. Seção Hidrogeológica FF'



Aquíferos

- Sistema Aquífero Barreiras
- Rochas carbonáticas
- Açú
- Cristalino

Geologia

- Contato definido
- Contato inferido
- Falha indicada na bibliografia

Convenção Cartográfica

- Estradas pavimentadas
- Rios, lagos, lagoas e lagunas
- Nível estático

Escala horizontal 1:200.000
Escala vertical 1:50.000

Dunas

São areias eólicas com granulometria fina a média, condutividade hidráulica elevada, porém de ocorrência limitada e pequena dimensão, o que lhe atribui baixa transmissividade. A espessura saturada das dunas é em geral muito pequena e condicionada a ocorrência de chuvas, sendo que no período seco, em geral, ficam praticamente insaturadas.

De fato, as dunas exercem mais a função de conduzirem as águas de infiltração (chuva) em direção aos aquíferos subjacentes, no caso, o aquífero Barreiras, do que propriamente constituírem aquífero. Convém ressaltar, entretanto, que em alguns setores, a estrutura hidrogeológica pode condicionar a formação desse tipo de aquífero, a exemplo do que ocorre na região do complexo lagunar de Jiqui na zona sul de Natal (MELO, 1995).

Os municípios da RMN que apresentam esta unidade hidrogeológica são Ceará-Mirim, Extremoz, Natal, Nísia Floresta e Parnamirim. Há registro de 6 poços no cadastro, captando água das dunas, próximo a lagoa do Jiqui, no município de Parnamirim. A profundidade média dos poços é de 10 m, com mínimo de 7 m e máximo de 12 m.

No cadastro compilado não há informações sobre qualidade das águas dessa unidade, sendo que na literatura, essas águas são tidas como de boa qualidade. Entretanto, devido a pequena profundidade das águas subterrâneas em dunas e a sua elevada condutividade hidráulica, esta unidade aquífera é altamente vulnerável à contaminação.

Esta unidade não está demonstrada nas seções hidrogeológicas que estão apresentando o Sistema Aquífero Barreiras indistintamente de suas unidades litoestratigráficas.

Aluvionar

As aluviões ocorrem no leito e margens dos principais rios e riachos que drenam a área, são de dimensões reduzidas, limitando-se a espessuras de 3 a 6 m. São, em geral, constituídas por areias grossas e cascalhos na base das seções e sedimentos finos na parte superior. As aluviões apresentam uma comunicação hidráulica direta com as águas do fluxo superficial. Faz-se referência a ocorrência de poços escavados perfurados as margens dos cursos dos rios ou riachos para captação d'água desses mananciais por indução. Não há dados de poços explorando essa unidade aquífera no cadastro. O aquífero aluvionar é altamente vulnerável a contaminação, por tratar-se de um aquífero com nível d'água pouco profundo e apresentar uma direção preferencial de fluxo subterrâneo.

Assim como as dunas, esta unidade não está distintamente demonstrada nas seções hidrogeológicas.

Barreiras

A parte inferior arenosa dos sedimentos da formação Barreiras constitui o que se chama aquífero Barreiras. É o principal aquífero da RMN devido a sua elevada potencialidade e excelente qualidade das águas em sua condição natural (MELO, 2009). As características hidráulicas e potencialidades das águas subterrâneas do aquífero Barreiras, bem como os aspectos ambientais envolvidos, são apresentados detalhadamente adiante neste capítulo.

Rochas Carbonáticas (Jandaíra e Arenito Calcífero)

No domínio da bacia Potiguar as rochas carbonáticas são representadas pela formação Jandaíra, subjacente à formação Barreiras, a qual compõe uma unidade aquífera cárstico-fissural, de natureza livre, caracterizada por apresentar porosidade por canais/condutores/cavernas. No âmbito da bacia Costeira PE/PB/RN, as distinções faciológicas e correlações das rochas carbonáticas subjacentes a formação Barreiras ainda não são bem esclarecidas. Entretanto, do ponto de vista hidrogeológico, esta unidade provavelmente possui um comportamento similar ao aquífero Jandaíra quanto ao caráter cárstico-fissural e, por isso, não será feita distinção entre essas unidades, que receberão a denominação de rochas carbonáticas.

As rochas carbonáticas são do Cretáceo Superior, subjacentes ao aquífero Barreiras, e trata-se de uma unidade hidrogeológica muito pouco conhecida na RMN e referida em geral como um aquífero cárstico-fissural de baixa potencialidade hidrogeológica e com restrições de qualidade. Esta unidade aquífera ocorre com maior destaque nos municípios de Ceará-Mirim e São Gonçalo do Amarante.

Dados do cadastro indicam 80 poços captando águas exclusivamente do aquífero das rochas carbonáticas, nos municípios de Ceará-Mirim (33 poços), São Gonçalo do Amarante (29 poços), Macaíba (8 poços), Natal (7 poços) e Nísia Floresta (3 poços). A média de profundidade desses poços é de 78 m (mínimo de 17 m e máximo de 192 m) e a vazão específica média dessa unidade é de 1,5 m³/h/m (mínima de 0,02 m³/h/m e máxima de 27,0 m³/h/m).

Um poço perfurado no campus universitário da UFRN no município de Natal atingiu o topo do aquífero das rochas carbonáticas a uma profundidade de 98 m. O referido poço penetrou 50 m nas rochas carbonáticas, com vazão específica de

0,9 m³/h/m. Provavelmente houve contribuições ou recarga do aquífero Barreiras sobrejacente, durante o bombeamento (STEIN, 2003).

Com relação a qualidade das águas das rochas carbonáticas, no município de Ceará-Mirim são identificadas como águas de salinidade elevada podendo chegar a 3.000 mg/L de sólidos totais dissolvidos (STD). As águas do poço do campus da UFRN em conformidade com a amostragem realizada, apresentaram-se de boa qualidade, com características químicas similares as águas do aquífero Barreiras, inclusive o nível de salinidade, cujo teor de sólidos totais dissolvidos foi de 97,6 mg/L. Esses resultados sugerem que houve a indução de águas do Barreiras durante o bombeamento do poço (STEIN, 2003).

A unidade aquífera das rochas carbonáticas pode ser verificada em todas as seções hidrogeológicas apresentadas (**Figuras 12.2 a 12.7**), configurando em grande parte da área a base do SAB e também sofrendo influência dos compartimentos estruturais em sua espessura, conforme fica evidenciado na seção hidrogeológica D-D' (**Figura 12.5**).

Açu

Esta formação é constituída de arenitos do Cretáceo Inferior e é a unidade basal da bacia Potiguar emersa, sobreposta às rochas do embasamento cristalino. Em relação a qualidade das águas, dados do cadastro indicam águas levemente salinizadas, com sólidos totais dissolvidos em torno de 1.000 mg/L.

Dados do cadastro indicam 8 poços captando água exclusivamente dessa unidade aquífera, todos no município de Ceará-Mirim, com profundidade média de 123 m (mínima de 94 m e máxima de 150 m) e vazão específica média de 2,0 m³/h/m (mínima de 0,06 m³/h/m e máxima de 6,8 m³/h/m).

A ocorrência do aquífero Açu pode ser verificada na seção hidrogeológica D-D' (**Figura 12.5**), sotoposta à unidade aquífera das rochas carbonáticas.

Cristalino

Ocorre em domínios isolados no setor oeste da RMN, principalmente no município de Macaíba. O aquífero cristalino é do tipo fissural, cujas águas se armazenam nas zonas de fraqueza das rochas (fendas e fissuras). É de baixo potencial hidrogeológico e apresenta, em geral, água bastante salinizada, com sólidos totais dissolvidos superior a 2.000 mg/L. No cadastro há 73 poços que captam água dessa unidade aquífera, localizados nos municípios de Macaíba (65 poços), Monte Alegre (6 poços), Ceará-Mirim (1 poço) e São José de Mipibu (1 poço). Os

poços possuem profundidade média de 47 m (mínima de 10 m e máxima de 101 m) e vazão específica média de 0,39 m³/h/m (variando entre 0,01 e 2,80 m³/h/m).

A seção hidrogeológica F-F' (**Figura 12.7**) demonstra a correlação mais comum entre as unidades aquíferas da RMN, sobretudo na parte sul da região, na qual o embasamento cristalino está diretamente sotoposto ao SAB pouco espesso. Nas proximidades do limite oeste da área e, condicionado por estruturas associadas a falhas normais, ocorre o aprofundamento da bacia e, desse modo, a embasamento cristalino não é mais atingido pelos poços que, quando atravessam o SAB, em geral, param nos primeiros metros das rochas carbonáticas.

A seção hidrogeológica A-A' (**Figura 12.2**) mostra uma condição atípica, na qual ocorre uma “janela” na unidade de rochas carbonáticas e o embasamento cristalino ocorre diretamente sotoposto ao SAB, em região já relativamente próxima à costa.

12.1.2 Potencialidades dos aquíferos e exploração das águas subterrâneas nos municípios da RMN

As informações apresentadas neste item são fundamentadas no conteúdo apresentado na **Tabela 12.2**.

Água subterrânea no município de Ceará-Mirim

As águas subterrâneas do município de Ceará-Mirim estão armazenadas em quatro unidades hidrogeológicas que ocorrem na RMN que são os aquíferos Barreiras, das Rochas Carbonáticas, Açú e Cristalino. As dunas e as aluviões não constituem aquíferos e formam juntamente com os sedimentos Barreiras o Sistema Aquífero Barreiras.

O Sistema Aquífero Barreiras é a unidade de maior potencialidade não somente pela sua elevada extensão em superfície (514 km²) como por suas propriedades hidráulicas conforme será visto no âmbito deste relatório. Em conformidade com os resultados do cadastro, são 447 poços que exploram do Sistema Aquífero Barreiras um volume de água de 14,7x10⁶ m³/a.

As demais unidades, que ocupam 40 km², produzem 0,7x10⁶ m³/a. Convém assinalar a ocorrência de poços (32) captando diferentes aquíferos (poços mistos) que produzem 1,5x10⁶ m³/a. O aquífero fissural (cristalino) praticamente não contribui com a disponibilidade de água apresentada.

Água subterrânea no município de Extremoz

No município de Extremoz ocorrem apenas as unidades aluvião, dunas e Barreiras. As aluviões e as dunas não apresentam disponibilidades significativas. Essas unidades, tal como ocorre no município de Ceará-Mirim apenas fazem parte do Sistema Aquífero Barreiras que ocupa toda área do município (121 km²) e 267 poços produzem 9,6x10⁶ m³/a.

Água subterrânea no município de Macaíba

As unidades geológicas que ocorrem no município de Macaíba são as aluviões, Barreiras, Rochas Carbonáticas e Cristalino. As aluviões fazem parte do Sistema Aquífero Barreiras no seu domínio de ocorrência. O Sistema Aquífero Barreiras ocupa uma área de 256 km² e o volume de água explotado de 247 poços cadastrados é da ordem de 7,6x10⁶ m³/a.

A rocha carbonática apenas ocorre em subsuperfície e a disponibilidade de água ofertada ao município é muito baixa, 7 poços produzindo apenas, 0,1x10⁶ m³/a de conformidade com dados do cadastro de poços. O aquífero fissural ocorre na área (67 km² e 54 poços operando) disponibilizando apenas 0,3 x10⁶ m³/a.

Água subterrânea no município de São Gonçalo do Amarante

De forma similar ao verificado anteriormente, as aluviões apenas fazem parte do Sistema Aquífero Barreiras, que com área de 229 km² e 418 poços, apresenta uma disponibilidade de 10,3x10⁶ m³/a. As rochas carbonáticas não afloram na área, havendo referência no cadastro 29 poços operando que produzem o total de 0,4x10⁶ m³/a. Não há registro de produção de poços no cristalino, o qual ocorre numa área muito pequena correspondendo a 5% da área do município (13 km²).

Água subterrânea no município de Natal

As dunas fazem parte do sistema hidrogeológico Barreiras e desempenham a importante função de propiciar uma maior eficiência na recarga do sistema aquífero constituído. No período seco o nível d'água nas dunas depleta, tornando as mesmas insaturadas, e no período chuvoso, a elevação de nível não é suficiente para justificar uma exploração (MELO, 1995). O volume explotado pelo Sistema Aquífero Barreiras (1.581 poços) no domínio da área de 168 km², é de 84,8x10⁶ m³/a.

As rochas carbonáticas não afloram na área. O volume explotado pelos poços (7 unidades) penetrando esse aquífero é de 0,1x10⁶ m³/a em conformidade com o cadastro realizado.

Água subterrânea no município de Parnamirim

No município de Parnamirim, de acordo com os resultados do cadastro, as dunas, numa área de 25 km², com 6 poços, apresentam uma disponibilidade de 0,04x10⁶ m³/a. O volume disponibilizado pelo Sistema Aquífero Barreiras (área de 120 km² e 306 poços) é de 24,0x10⁶ m³/a. Não há registro de poços captando água nas rochas carbonáticas.

Água subterrânea no município de Monte Alegre

As unidades que constituem aquíferos no município de Monte Alegre são os sedimentos Barreiras e as rochas cristalinas. O volume bombeado em 110 poços no Sistema Aquífero Barreiras, que ocupa uma área de 126 km², é de 1,7x10⁶ m³/ano. O aquífero fissural, com 72 km² de área contribui apenas com 0,04x10⁶ m³/ano mediante a captação de água em 6 poços.

Água subterrânea no município de São José de Mipibú

Em São José de Mipibú, o Sistema Aquífero Barreiras ocupa praticamente toda a área do município (290 km²) e há registro de 237 poços que produzem a descarga total de 5,7x10⁶ m³/ano.

Água subterrânea no município de Nísia Floresta

Em Nísia Floresta, o Sistema Aquífero Barreiras abrange todo o município (290 km²) e os resultados do cadastro indicam a existência de 377 poços produzindo 8,4x10⁶ m³/a. A unidade designada rocha carbonática que não ocorre aflorante na área produz um volume de 0,03 x10⁶ a partir de 3 poços cadastrados.

12.2 Parâmetros Hidráulicos do Sistema Aquífero Barreiras

Os parâmetros hidráulicos do Sistema Aquífero Barreiras avaliados e discutidos a seguir incluem as suas dimensões, litologia e estrutura, bem como os seus parâmetros hidrodinâmicos: transmissividade, condutividade hidráulica, porosidade eficaz e coeficiente de armazenamento.

As dimensões, litologia e estrutura foram avaliadas com base na análise e correlação de perfis de poços. Neste caso, uma primeira indicação do tipo de aquífero quanto as pressões relativas, ou seja, livre, semiconfinado ou confinado, é apresentada. O procedimento adotado para obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras foi o seguinte:

- Análise de informações já existentes em trabalhos anteriores;
- Interpretação de resultados de testes de aquífero disponibilizados pelo Departamento de Geologia da UFRN e empresas de perfuração;
- Interpretação de resultados de testes de produção de poço fornecidos pela CAERN;
- Interpretação de dados de vazões específicas de poços, fornecido pela CAERN;
- Interpretação dos testes de aquífero executados no âmbito deste projeto.

Os resultados da pesquisa sobre esses parâmetros estão sintetizados na tabela do **Apêndice E** (Parâmetros Hidráulicos do Sistema Aquífero Barreiras) como critério metodológico, tendo em vista a elaboração dos respectivos produtos relativos aos mapas hidrogeológicos que constituem a base para a elaboração deste trabalho.

12.2.1 Dimensões, litologia e estrutura do Sistema Aquífero Barreiras

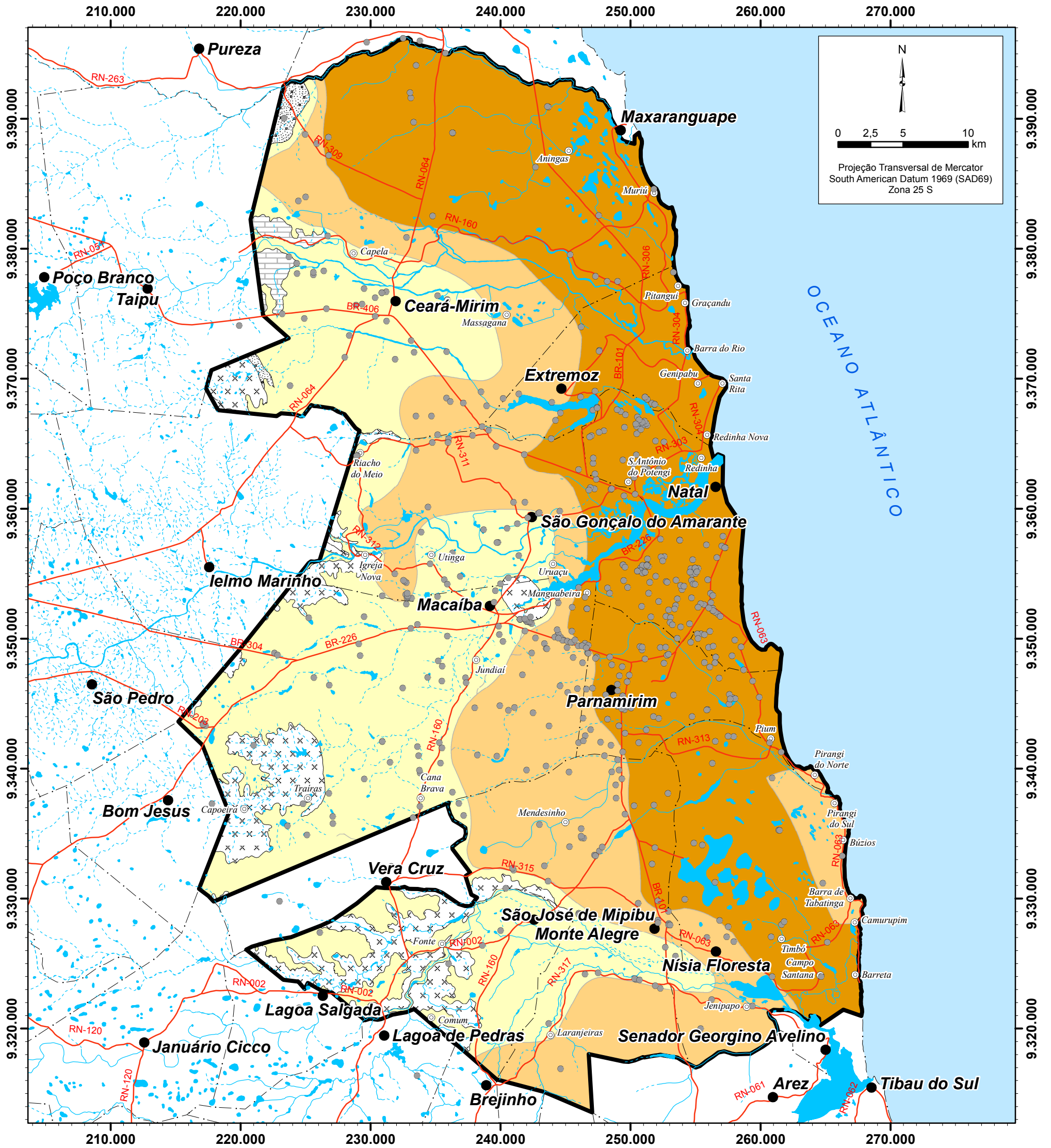
O Sistema Aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Natal ocupa uma superfície da ordem de 2.110 km². Sua espessura varia bastante, condicionada fortemente pelas ocorrências de falhamentos, o que é bastante comum na área, conforme já apresentado (Capítulo 3). De modo geral, existe um aumento da espessura do Sistema Aquífero Barreiras na direção de oeste, a partir do embasamento cristalino, para o leste, na linha da costa (**Figura 12.8**). A espessura mínima registrada em sondagens foi de 11 m (alto curso do Rio Doce), mais próximo do embasamento cristalino, até espessura de 111 m próximo a linha de costa. A espessura média obtida para o Sistema Aquífero Barreiras foi de 64 m. As espessuras podem ser agrupadas em três faixas perfeitamente identificadas com intervalos crescentes, com a seguinte definição (**Figura 12.8**):

- a) Faixa oeste, com menores espessuras do Sistema Aquífero Barreiras, em geral inferiores a 30 m;
- b) Faixa central, com espessuras compreendidas 30 e 55 m;
- c) Faixa leste, que corresponde a faixa costeira, com espessura compreendida entre 55 a pouco mais de 100 m (foi obtida espessura máxima de 111 m).

Esta variação da espessura é condizente com a compartimentação estrutural da área de estudo, e está refletindo principalmente os falhamentos de direção NW-SE, gerados durante a evolução da bacia Costeira PE/PB/RN e amplamente abordado no Capítulo 3 deste relatório. Esses falhamentos NW-SE condicionaram a ocorrência de *grabens* e *horsts* com abatimentos dos blocos principais de oeste

para leste, o que resultou no aumento da espessura dos sedimentos nessa mesma direção. Conseqüentemente, além do aumento da espessura total do Sistema Aquífero Barreiras, ocorre o aumento da sua espessura saturada também de oeste para leste, conforme demonstrado e discutido nas seções hidrogeológicas apresentadas anteriormente (**Figuras 12.2 a 12.7**) e em seções elaboradas em outros estudos (**Figuras 12.9 a 12.14**).

Litologicamente, o Sistema Aquífero Barreiras em geral exibe uma cobertura arenosa identificada como dunas, ou de sedimentos superiores do Barreiras ou de forma restrita por aluvião, com espessura que varia de 1 a 20 m. Na sua faixa mais a oeste os sedimentos de cobertura são areias argilosas e argilo-arenosas de espessura mal definida, resultado em geral de ações intempéricas sobre a superfície do terreno (elúvio).



N
 0 2,5 5 10 km
 Projeção Transversal de Mercator
 South American Datum 1969 (SAD69)
 Zona 25 S

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Espessura da Fm. Barreiras (m)

- < 30
- 30 a 55
- > 55

Geologia

- Formação Jandaíra
- Formação Açú
- Embasamento cristalino
- Contato geológico

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo
- Poços totalmente penetrantes na Fm. Barreiras

Localização da área de estudo



Figura 12.8. Espessura da Formação Barreiras na Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL


 ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS


 SEMARH
SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DAS RECURSOS HÍDRICOS


 Servmar
AMBIENTAL & ENGENHARIA

Novembro de 2011

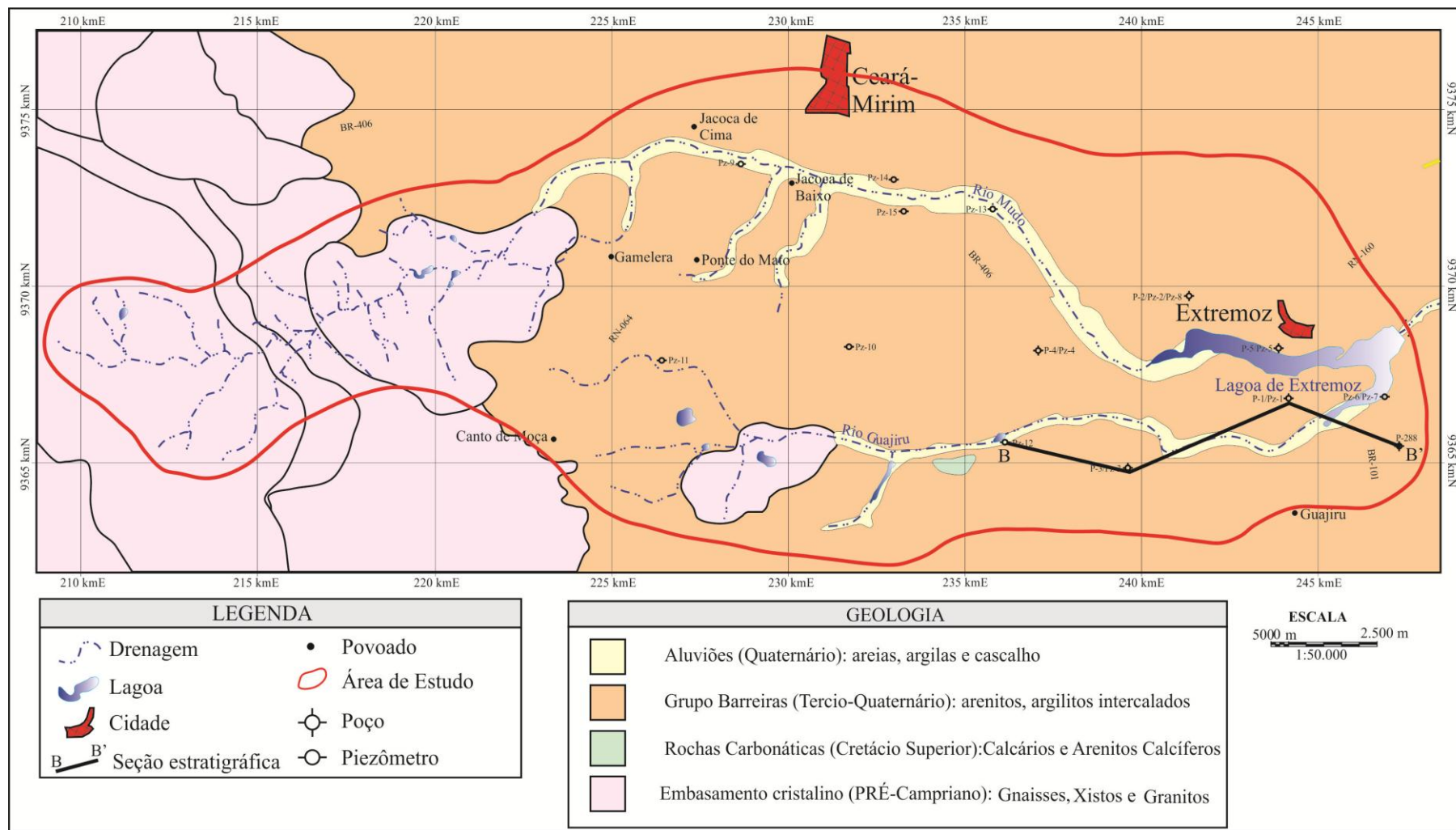


Figura 12.9. Localização da seção hidrogeológica BB' do aquífero Barreiras na bacia do rio Doce (SERHID, 2004)

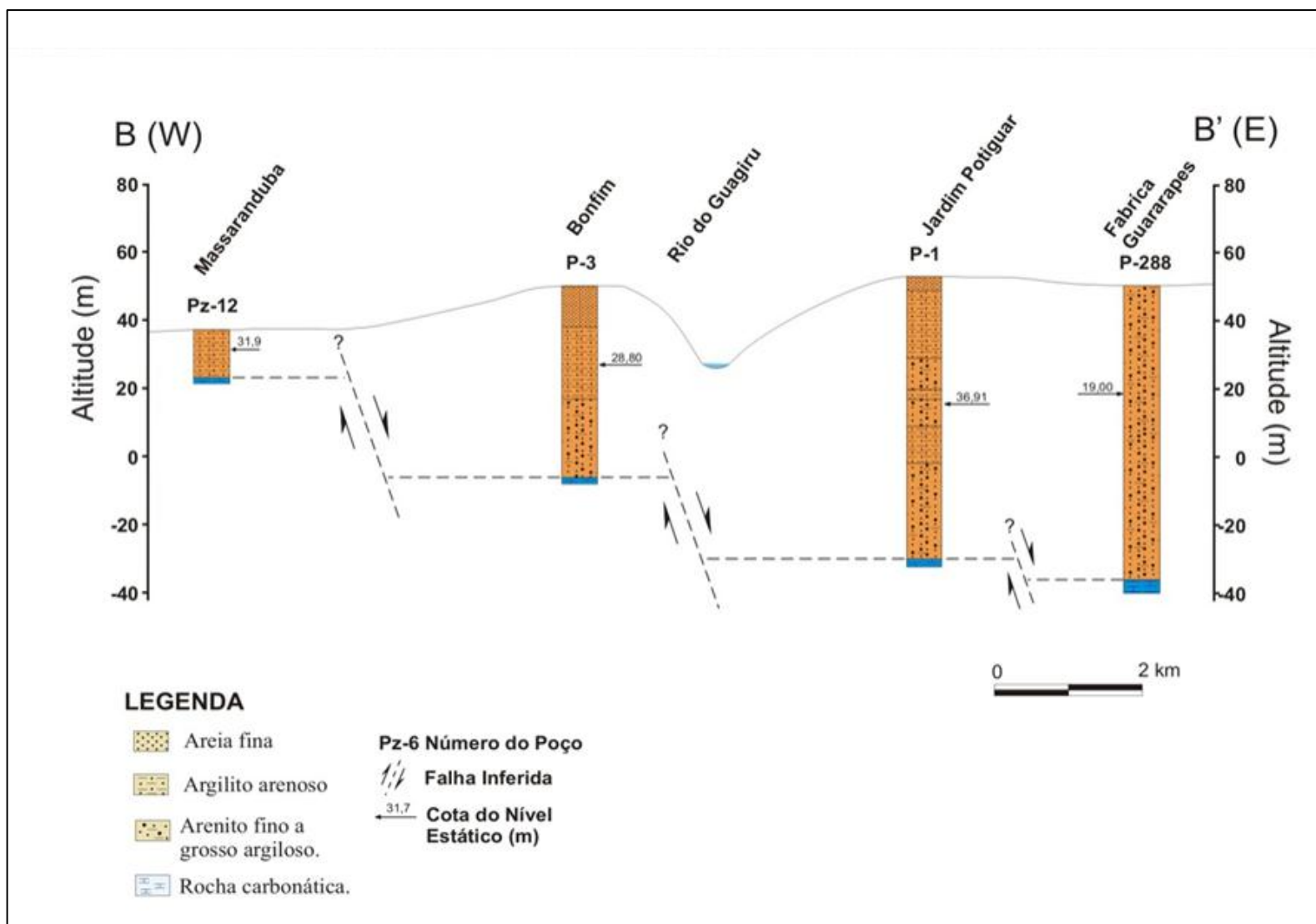


Figura 12.10. Seção hidrogeológica do Sistema Aquífero Barreiras na bacia do rio Doce (SERHID, 2004)

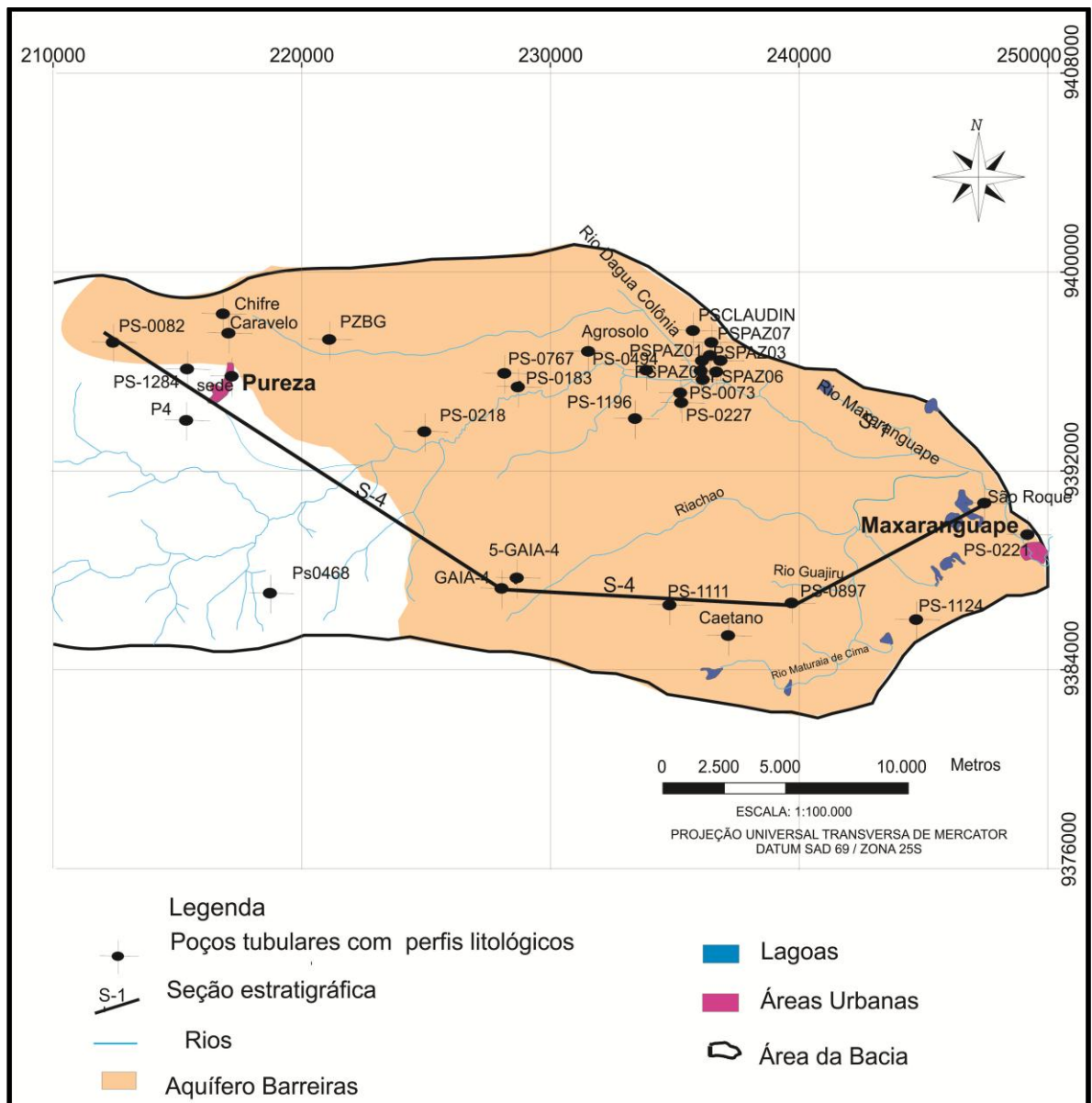


Figura 12.11. Localização da seção hidrogeológica S-4 do aquífero Barreiras na bacia do rio Maxaranguape (SEMARH, 2010)

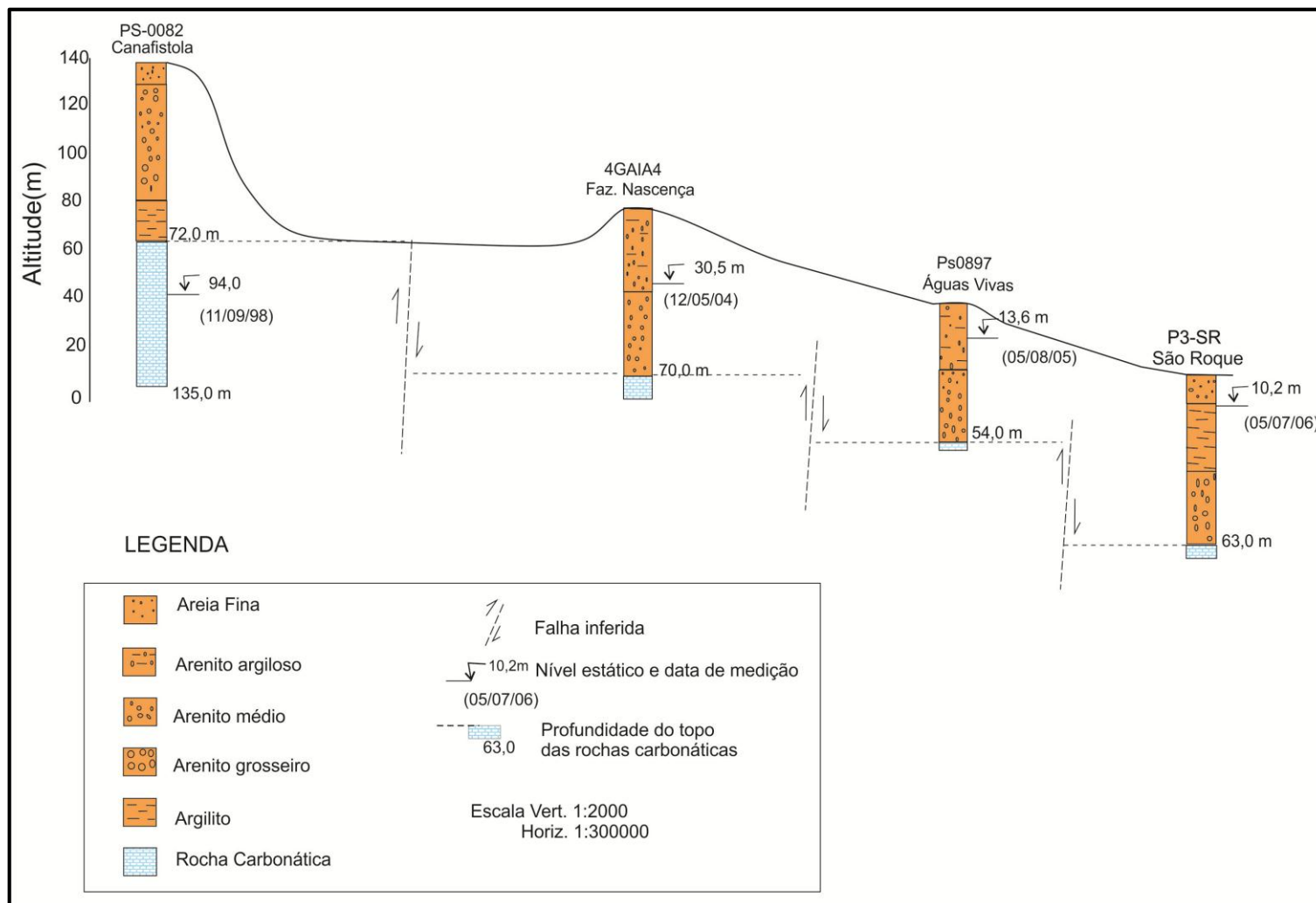
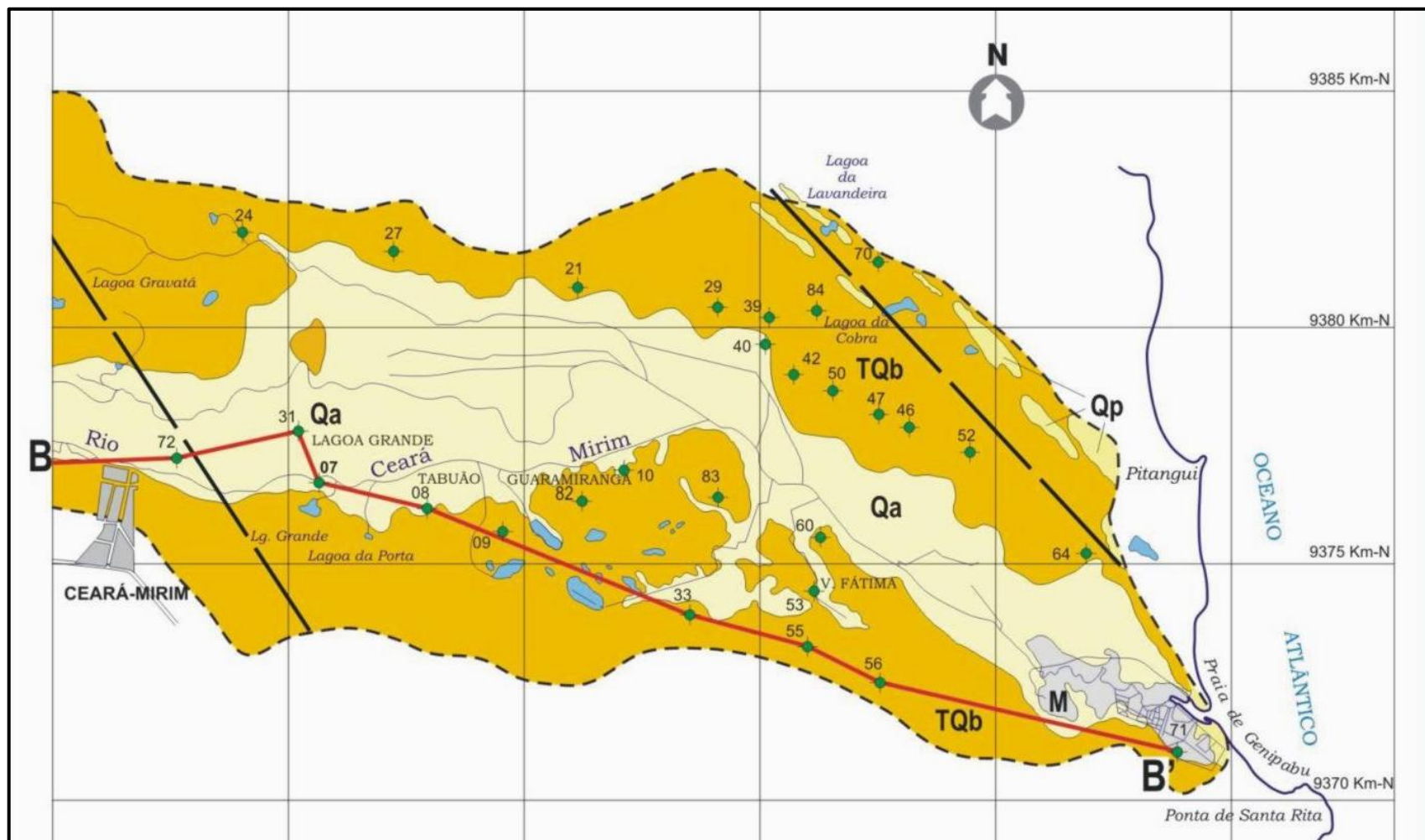


Figura 12.12. Seção hidrogeológica S-4 do Sistema Aquífero Barreiras na direção oeste-leste na bacia do rio Maxaranguape (SEMARH, 2010)



Legenda - Qp: depósitos de praia, dunas fixas e móveis; Qa: aluvião; TQb: Formação Barreiras

Figura 12.13. Localização da seção hidrogeológica BB' no vale do rio Ceará-Mirim, RN (DINIZ, 1999)

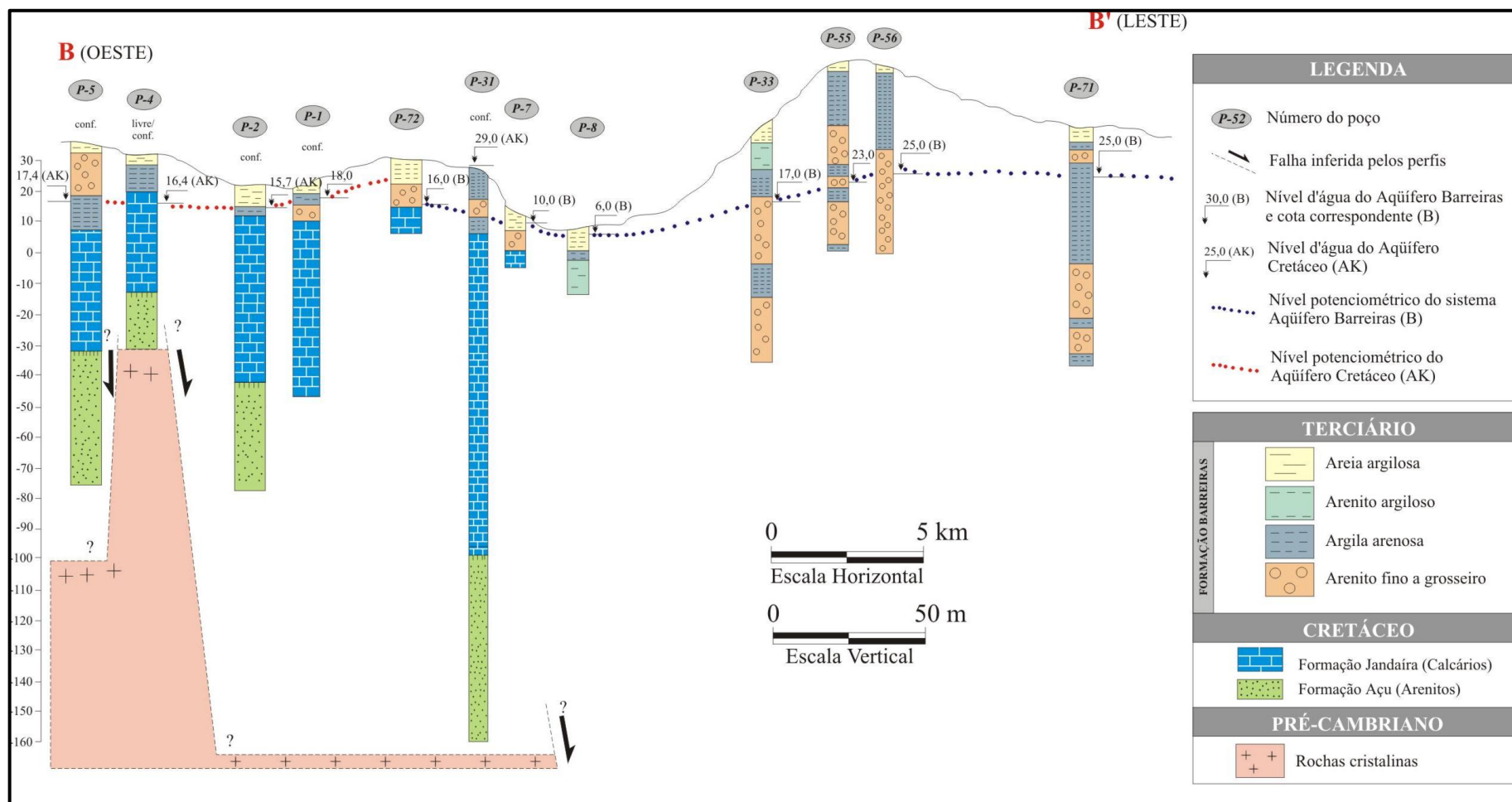


Figura 12.14. Perfil hidrogeológico BB'' na bacia do rio Ceará-Mirim (DINIZ, 1999)

Sob essa cobertura ocorrem sedimentos heterogêneos com acentuada mudança lateral de fácies que podem gradar de argilitos para siltitos e para arenitos, condicionados por fatores naturais de sedimentação ou resultado de falhamentos. Essa camada apresenta uma espessura média de 30,0 m.

A parte mais inferior é constituída de arenitos de granulação que pode variar de fina a grosseira, não raro com a presença de níveis cascalhosos e intercalações argilosas que atribui ao Sistema Aquífero uma maior complexidade e que limita bastante a potencialidade do mesmo. A espessura saturada atribuída ao Sistema Aquífero Barreiras é, em média, de 32 m.

A constituição litológica dos sedimentos é muito variada sugerindo em alguns casos condições de semi-confinamento pela dominância de arenitos argilosos e argilitos na parte superior dos perfis; em outros casos, a parte superior dos perfis é arenosa, com padrão litológico dominante mais característico de aquíferos livres. Na tabela de Parâmetros Hidráulicos do Barreiras (**Apêndice E**), $b' = 0$, significa aquífero livre.

As considerações alusivas as dimensões, litologia e estrutura do aquífero Barreiras, entre outras particularidades, no âmbito de cada município, são apresentadas a seguir.

Município de Ceará-Mirim

Ceará-Mirim é o município de maior dimensão e com maior extensão do Sistema Aquífero Barreiras na RMN, o qual se desenvolve numa superfície da ordem de 514 km², drenada pelos rios Maxaranguape, Ceará-Mirim e Doce. A espessura do Sistema Aquífero Barreiras varia de 13 m (alto curso da bacia do rio Doce) a 111 m na faixa costeira, com média de 57 m, abrangendo as três faixas de espessura caracterizadas na avaliação regional da RMN (**Figura 12.8**), quais sejam: faixa oeste com espessuras inferiores a 30 m, contígua as rochas do embasamento cristalino; faixa central, espessuras de 30 m a 55 m; e, faixa leste com espessuras compreendidas 55 m a mais de 100 m. Litologicamente, a parte superior do aquífero Barreiras é formada em sua maior parte por argilitos e a parte inferior são arenitos. A condição de aquífero semiconfinado, portanto, prevalece.

Município de Macaíba

O Sistema Aquífero Barreiras no município de Macaíba cobre uma superfície da ordem de 256 km² e desenvolvem espessuras que variam de 24 m a 62 m, em conformidade com as faixas definidas (**Figura 12.8**). A média das espessuras penetradas é de 44 m. A natureza litológica e disposição dos estratos sedimentares sugere que o aquífero é essencialmente do tipo livre. Grande parte

da área do município de Macaíba é drenada pelo sistema fluvial do rio Potengi e uma pequena parcela no setor sudeste por afluentes do rio Pirangi.

Município de Extremoz

O Sistema Aquífero Barreiras no município de Extremoz cobre uma superfície 121 km² que é drenada pelo sistema fluvial dos rios Doce e Ceará-Mirim. Sua espessura total varia de 28 a 82 m, com média de 57 m. Espessura inferior a 40 m se verifica no setor oeste do município, no médio curso do rio Doce. As menores espessuras ocorrem provavelmente devido a ocorrência de falhamentos localizados.

Município de São Gonçalo do Amarante

A área de abrangência do Sistema Aquífero Barreiras no município de São Gonçalo do Amarante é da ordem de 229 km². A espessura varia de 44 a 80 m, com média de 61 m. As menores espessuras (>30 m) ocorrem na faixa próximo ao embasamento cristalino; as espessuras na altura da sede de São Gonçalo do Amarante (**Figura 12.8**) estão compreendidas entre 40 e 55 m; as espessuras superiores a 55,0 m se verificam no setor oriental do município. Na maioria dos casos, notadamente no setor mais a oeste do município, as condições de um sistema aquífero livre são mais características, pela menor espessura dos sedimentos e certa homogeneidade nos sedimentos penetrados.

Município de Natal

O Sistema Aquífero Barreiras ocorre em toda extensão do município de Natal, compreendendo uma superfície de 168 km². As espessuras variam de 51 a 99 m, com média de 74 m. Praticamente toda área do município está situada na faixa costeira identificada na avaliação regional com espessura que varia de 55 a 100 m (**Figura 12.8**). Na zona norte de Natal a composição litológica dos sedimentos é fundamentalmente arenosa o que sugere a presença de um sistema predominantemente livre. Na zona sul de Natal, a parte superior dos perfis de poços é dominada por sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos e a parte inferior são arenitos finos a grosseiros, o que atribui ao Sistema Aquífero Barreiras o caráter dominante semiconfinado, conforme será ressaltado adiante. Essas condições, entretanto não são perfeitamente definidas, podendo ocorrer localmente um ou outro tipo de aquífero.

Município de Parnamirim

O Sistema Aquífero Barreiras no município de Parnamirim situa-se na bacia hidrográfica do rio Pirangi cobrindo uma superfície de 116 km². São

desenvolvidas espessuras que variam de 44 a 86 m, com média de 60 m. As condições de aquífero livre e semiconfinado também se verificam, tal como nos demais municípios. Em conformidade com a **Figura 12.8**, a maior parte do município de Parnamirim está situado na faixa leste, cuja espessura está compreendida entre 55 e 100 m.

Município de Monte Alegre

O Sistema Aquífero Barreiras no município de Monte Alegre abrange uma superfície de 126 km² e está situado na bacia do rio Trairi desenvolvendo espessuras compreendidas entre 22 e 40 m, com média de 33 m. O aquífero desenvolve espessuras relativamente pequenas (menor que 40 m na **Figura 12.8**) e a constituição predominantemente argilosa dos sedimentos penetrados atribui ao mesmo, em geral, baixa potencialidade conforme será visto adiante.

Município de São José de Mipibu

A área de ocorrência do Sistema Aquífero Barreiras no município de São José de Mipibu é de 290 km² e é drenada no setor norte pelo sistema fluvial do rio Pirangi e no setor sul do município pelo sistema fluvial do rio Trairi.

A espessura total dos sedimentos varia de 19 m a 78 m, com média de 47 m. Em conformidade com o mapa da **Figura 12.8**, a espessura do Sistema Aquífero Barreiras é maior no seu setor noroeste. O condicionamento estrutural e litológico favorece a ocorrência em geral de aquífero livre tal como sugere os perfis de poços examinados.

Município de Nísia Floresta

O Sistema Aquífero Barreiras ocupa uma superfície de 290 km² no município de Nísia Floresta. A área é drenada ao norte por um afluente do rio Pirangi e ao sul pelo sistema fluvial do rio Trairi. A parte central do município pertence a região do sistema lagunar do Bonfim. A espessura do Sistema Aquífero Barreiras varia de 33 a 100 m, com média de 76 m. As menores espessuras ocorrem no setor sudoeste da área (espessuras compreendidas entre 30 e 55 m). No restante da área as espessuras atingem valores de 55 a 100 m.

A estrutura geológica e o processo de sedimentação condicionam a ocorrência de arenitos grosseiros e cascalhosos no setor a oeste da lagoa do Bonfim o que atribui ao aquífero uma condição de elevada potencialidade. Neste domínio, a condição de aquífero semiconfinado existe, entretanto convém notar que as diferenças de cargas hidráulicas entre o aquífero livre identificado na área e o semiconfinado é muito pequena, apenas de 10 cm (**Figuras 12.15 e 12.16**), o que

se pode pensar na possibilidade de um sistema aquífero livre tal como se concebe para a RMN como um todo.

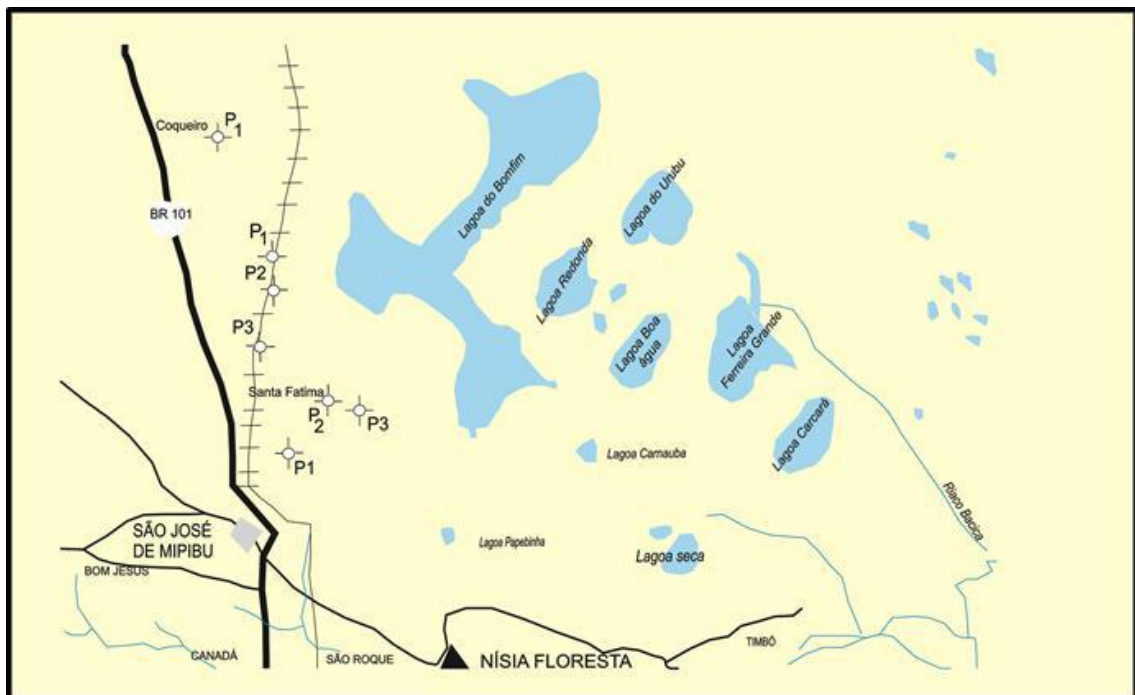


Figura 12.15. Localização dos poços produtores da bateria da lagoa do Bonfim que abastece a Adutora Monsenhor Exedito (SERHID, 1998b)

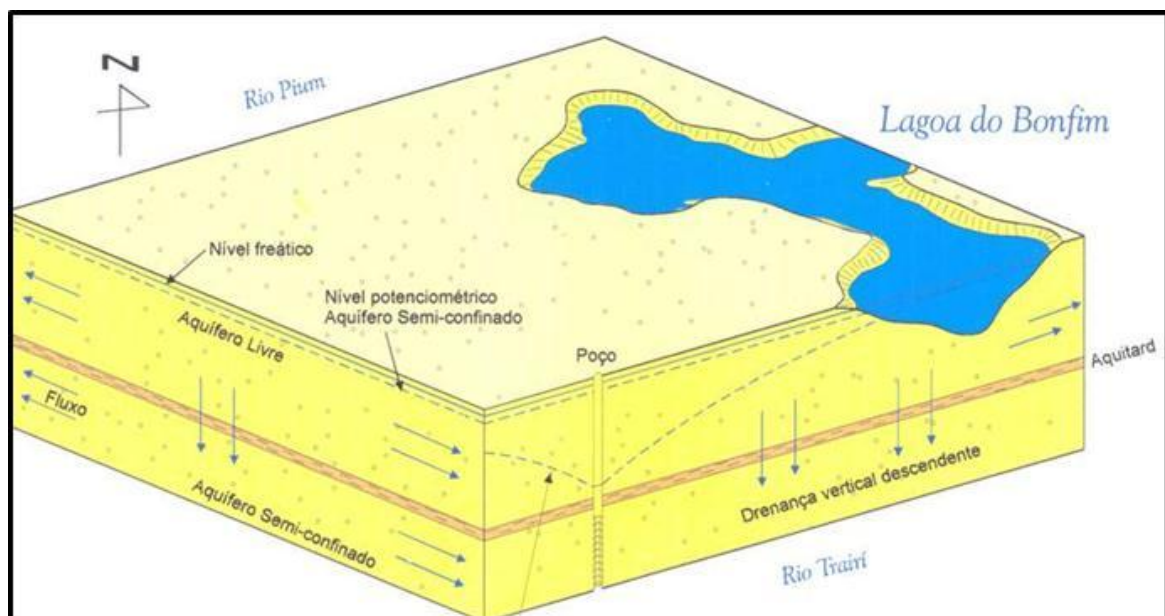


Figura 12.16. Esquema do funcionamento hidráulico do Sistema Aquífero Barreiras no setor ocidental da lagoa do Bonfim (SERHID, 1998b)

12.2.2 Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras na RMN

As considerações sobre os parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Barreiras são apresentadas por município, tomando por base os valores obtidos através da interpretação de testes de bombeamento realizados no âmbito deste trabalho, disponibilizados pelas empresas de perfuração, CAERN, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH) e Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Para efeito de interpretação foram considerados apenas os resultados dos ensaios que se mostraram confiáveis em conformidade com a avaliação estabelecida previamente, cujos resultados dos parâmetros de interesse estão reportados na tabela de parâmetros hidráulicos do SAB (**Apêndice E**). Ainda, para efeito de avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos, foi levado em consideração e priorizado poços totalmente penetrantes e a distribuição geográfica regular.

Para completar a malha de informação, poços sem resultados de testes, porém com valor de vazão específica, foram utilizados nas avaliações de transmissividade e condutividade hidráulica.

Várias fórmulas têm sido propostas e testadas na avaliação da transmissividade do aquífero a partir da vazão específica. Parte-se do pressuposto de que a vazão específica é independente da vazão e só depende das características do aquífero. A fórmula que se demonstrou mais adequada foi a proposta por Custodio e Llamas (2001):

$$T = 1,4 q \quad (18)$$

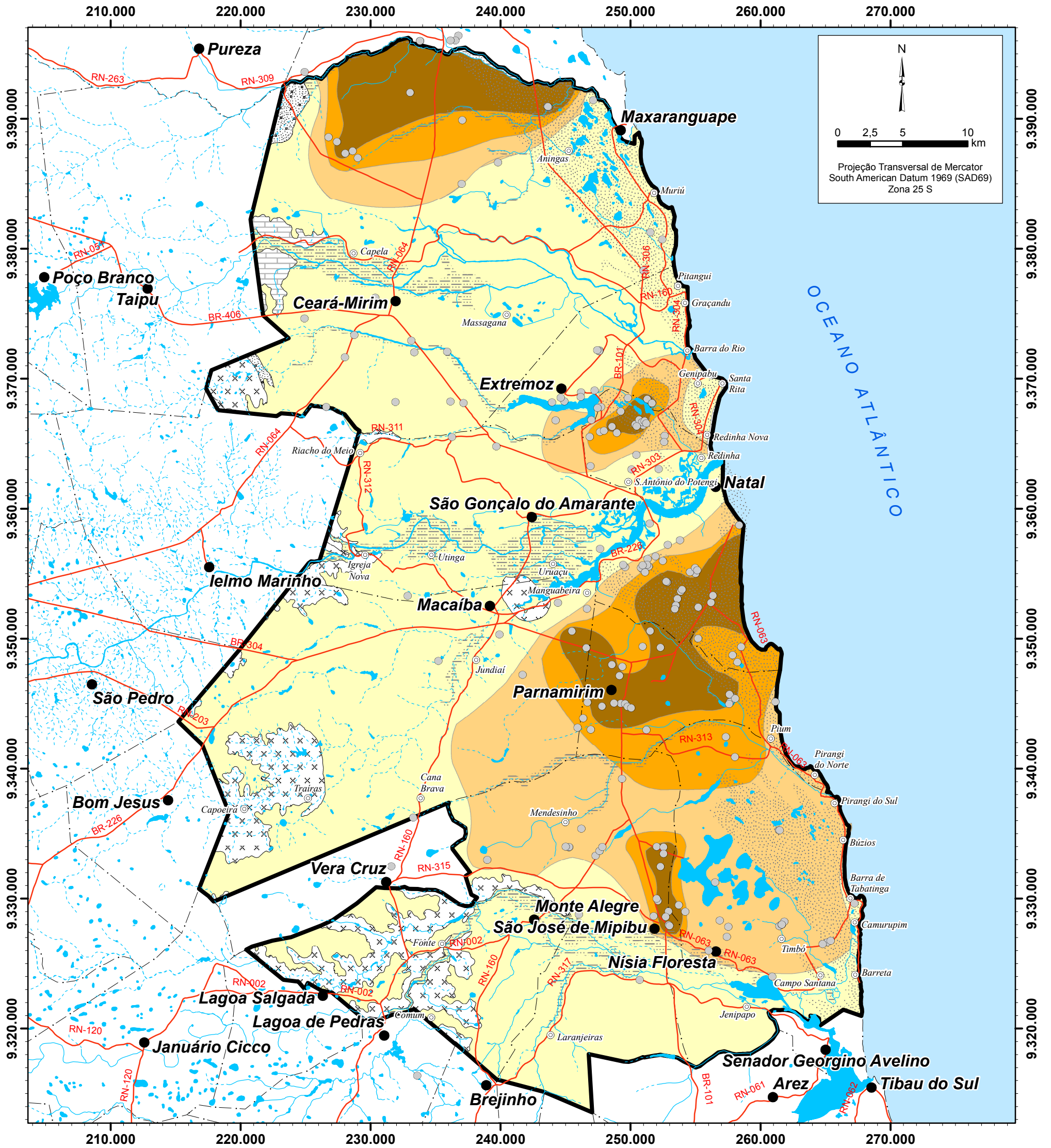
onde:

q é a vazão específica (m³/dia/m)

Para a aplicação desta equação foi feito um teste com a aplicação da mesma em poços com transmissividades já conhecidas, obtendo-se resultados satisfatórios. Após a consolidação dos valores de transmissividade para RMN e a distribuição dos pontos (com valores de transmissividade) foi procedida a interpolação dos resultados, que permitiu a obtenção do mapa de isovalores de transmissividade e em seguida o zoneamento segundo intervalos definidos (**Figura 12.17**).

Foram definidas quatro zonas de transmissividade:

- a) Inferior a 50 m²/dia ou sedimentos do Barreiras não saturado;
- b) 50 a 200 m²/dia;
- c) 200 a 350 m²/dia;
- d) Maior que 350 m²/dia



Projeção Transversal de Mercator
South American Datum 1969 (SAD69)
Zona 25 S

- Transmissividade do Sistema Aquífero Barreiras (m²/dia)**
- < 50 ou sedimentos insaturados
 - 50 a 200
 - 201 a 350
 - > 350
- Geologia**
- Depósitos aluvionares
 - Dunas e paleodunas
 - Formação Jandaíra
 - Formação Açú
 - Embasamento cristalino
 - Contato geológico

- Convenção Cartográfica**
- Sedes municipais
 - Povoados ou assentamentos
 - Estradas pavimentadas
 - Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
 - Rios intermitentes
 - Rios perenes
 - Limites municipais
 - Área de estudo
 - Poços com dados de transmissividade



Figura 12.17. Transmissividade do Sistema Aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

SEMARH
SECRETARIA DE ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
DE RECURSOS HÍDRICOS

Servmar
AMBIENTAL & ENGENHARIA

As menores transmissividades estão situadas prioritariamente na faixa oeste da RMN. As áreas de maior transmissividade em conformidade com o referido zoneamento estão situadas nos seguintes domínios ou setores:

- a) No extremo norte da RMN ou no setor noroeste do município de Ceará-Mirim, na bacia do Rio Maxaranguape;
- b) Ao sul do município de Extremoz, a margem do Rio Doce;
- c) Na zona norte de Natal a margem do rio Doce;
- d) Na faixa compreendida entre a zona sul de Natal que se estende de sua parte meridional até o município de Parnamirim e em seguida até o setor ocidental da lagoa do Bonfim no município de Nísia Floresta e São José de Mipibú.

Município de Ceará-Mirim

Os valores de vazão específica variaram de $0,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $12,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, com média de $4,9 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. A espessura saturada variou de 6 m a 55 m, com média de 30 m. As transmissividades obtidas variaram de $4 \text{ m}^2/\text{dia}$ a $1.555 \text{ m}^2/\text{dia}$, com média de $244 \text{ m}^2/\text{dia}$. Os maiores valores de transmissividade se verificam no setor noroeste do município de Ceará-Mirim, as margens do rio Maxaranguape. Os valores de condutividade hidráulica foram: mínimo $0,3 \text{ m}/\text{dia}$; máximo $40,0 \text{ m}/\text{dia}$ e médio de $7,8 \text{ m}/\text{dia}$. São apresentados seis valores de coeficientes de armazenamento, um deles na localidade de Chifre (P1CHIF) na bacia do rio Maxaranguape, com valor de $4,4 \times 10^{-3}$, o qual reflete de certa maneira a condição de aquífero livre. O valor de b' igual a 1 m já indica esta tendência (**Tabela 12.3**).

Tabela 12.3. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Ceará-Mirim

Poço	Coord E	Coord S	EaqB	Q/s	Q _{max}	b ou h0	b'	T	K	S
			m	m ³ /h/m	m ³ /h	m	m	m ² /dia	m/dia	x10 ⁻³
PZ9	228738	9373379	13	0,3	3	10	0	10	1,0	-
PZ10	231900	9368219	43	0,5	5	10	0	17	16,8	-
PZ11	226583	9367837	20	0,3	5	13	0	10	1,0	-
PZ12	236246	9365521	14	0,3	3	9	0	10	1,0	-
PZ13	235875	9372093	11	0,3	3	9	0	10	1,0	-
PZ14	233119	9372947	14	0,3	3	6	0	10	1,0	-
PZ15	233347	9372035	25	0,5	3	20	0	17		-
P-278	247716	9367841	100	-	140	-	-	-	-	-
P-69	244896	9368264	-	-	36	-	-	52	-	-
P-71	247223	9369107	-	-	15	-	-	52	-	-
P-73	246188	9368962	70	-	20	-	-	52	-	-
P-74	246153	9368612	40	-	18	-	-	52	-	-
P-76	244614	9368544	-	-	20	-	-	52	-	-
03R4	237048	9389901	80	11,0	80	47	0	371	8,0	-
1711	237000	9385000	70	5,0	60	-	-	169	-	-
07-G04	227407	9388235	80	11,5	60	39	3	388	9,9	-
4GAIA4	228035	9387344	72	6,3	65	40	-	634	6,3	-
5GAIA4	228609	9387524	68	10,3	60	30	-	776	25,9	-
PS0897	239790	9386650	-	0,7	-	-	-	34	0,8	-
PS0218	224920	9393620	40	1,0	4	-	-	72	40,0	-
PS0494	233800	9396000	90	10,5	100	-	-	1.555	16,6	-
P3SR	247128	9391437	60	1,8	40	26	20	75	3,1	-
P1CHIF	216532	9398560	62	0,6	2	27	1	61	3,1	4,4
PAZ2	236742	9396412	70	6,8	120	50	-	229	2,5	-
PAZ5	236513	9396035	66	9,4	120	24	-	317	7,7	-
PAZ4	236138	9396041	57	12,1	90	23	-	408	9,1	-
PS-323C	229000	9387000	66	8,0	25	16	10	270	16,8	-
03R06	233038	9392020	80	12,0	120	55	0	-	-	-
P1PT	251525	9381276	98	0,4	15	38	52	14	0,3	29,0
P2PT	250990	9378343	107	2,1	50	44	50	60	1,3	0,2
P3PT	252429	9380733	111	0,2	15	28	62	4	0,8	0,9
PT01	224902	9374642	26	-	-	-	-	-	-	-
02-PM08	228009	9371664	40	-	20	-	-	-	-	-
PS-1138	230349	9376250	21	-		-	-	-	-	-
PS0494	233800	9396000	98	10,6	100	52	4	933	-	-
PS-0533	226760	9388590	74	12,0	60	21	11	404	-	-
CRM0552	243695	9390924	83	2,8	90	52	31	-	-	-
CRM0553	243603	9390958	80	-	-	46	34	361	7,0	0,2
CRM0554*	243646	9390941	60	-	-	32	-	575	6,7	2,0
Média	-	-	60	4,9	46	30	-	244	7,8	-
Máximo	-	-	111	12,1	140	55	-	1.555	40,0	-
Mínimo	-	-	11	0,2	2	6	-	4	0,3	-
n	-	-	35	28	34	26	-	33	24,0	-

EaqB: espessura do SAB; Q/S: vazão específica; Q_{max}: vazão máxima; b ou h0: espessura saturada do SAB; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; S: coeficiente de armazenamento; n: contagem de dados; * poço parcialmente penetrante.

Município de Extremoz

Os valores de vazão específica variaram de 0,1 m³/h/m a 15,0 m³/h/m, com média de 3,6 m³/h/m. A espessura saturada variou de 21 m a 39 m, com média de 28 m. A coluna b' da **Tabela 12.4**, camada semiconfinante, indica condição de aquífero livre quando o valor assumido é nulo.

As transmissividades obtidas variaram de 3 m²/dia a 509 m²/dia, com média de 138 m²/dia. Os maiores valores de transmissividade se verificam no setor sul do município de Extremoz a margem do Rio Doce (**Figura 12.17**). Os correspondentes valores de condutividade hidráulica foram: mínimo 0,1 m/dia; máximo 18,1 m/dia e valor médio de 6,4 m/dia. Os valores de condutividade hidráulica da camada semi-confinante foram bastante próximos, em média de 4,3x10⁻³ m/dia ou 5,0x10⁻⁸ m/s, o que é característico de argilito arenoso. São apresentados quatro valores de coeficientes de armazenamento (S), 1,1x10⁻³; 1,0x10⁻³, 3,2x10⁻³ e 6,1x10⁻³, com média de 2,9x10⁻³.

Tabela 12.4. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Extremoz											
Poço	Coord E	Coord S	E _{aqB}	Q/s	Q _{max}	b ou h ₀	b'	T	K	K'	S
			m	m ³ /h/m	m ³ /h	m	m	m ² /dia	m/dia	m/dia	x10 ⁻³
P1	244228	9366800	83	7,0	100	28	18	509	18,1	2,2x10 ⁻³	3,2
P2	236129	9368260	71	2,0	40	21	18	302	14,4	1,6x10 ⁻³	1,0
P3	239667	9364805	56	0,3	10	27	-	3	0,1	-	-
P4	237133	9368142	46	0,1	10	21	-	3	0,1	-	-
P5	243945	9368197	32	3,7	50	23	17	112	5,0	9,0x10 ⁻³	1,1
PZ7	246981	9366834	28	0,5	3	26	-	17	0,6	-	-
PT46R	251281	9368435	80	15,0	80	35	9	-	12,4	-	-
EXT0273*	247578	9372127	60	-	-	28	-	22	0,6	-	6,1
EXT0274	247607	9372191	72	0,3	1	36	-	-	-	-	-
EXT0275	247578	9372127	75	-	-	39	-	-	-	-	-
Média	-	-	60	3,6	37	28	-	138	6,4	4,3x10⁻³	2,9
Máximo	-	-	83	15,0	100	39	-	509	18,1	9,0x10⁻³	6,1
Mínimo	-	-	28	0,1	1	21	-	3	0,1	1,6x10⁻³	1,0
n	-	-	10	8	8	10	-	7	8	3	4

EaqB: espessura do SAB; Q/S: vazão específica; Q_{max}: vazão máxima; b ou h₀: espessura saturada do SAB; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; S: coeficiente de armazenamento; K': condutividade hidráulica da camada semi-confinante; n: contagem de dados; * poço parcialmente penetrante.

Município de São Gonçalo do Amarante

Os valores de vazão específica variaram de 1,5 m³/h/m a 5,5 m³/h/m, com média de 3,7 m³/h/m. A espessura saturada variou de 31 m a 39 m, com média de 34 m. Dos quatro poços avaliados, três deles mostraram a condição de aquífero livre (b' = 0) (**Tabela 12.5**). As transmissividades obtidas variaram de 51 m²/dia a 195 m²/dia, com média de 138 m²/dia, atingindo valores muito baixos no setor oeste do município (**Figura 12.17**).

Os correspondentes valores de condutividade hidráulica foram: mínimo 1,5 m/dia; máximo 6,3 m/dia e valor médio de 4,1 m/dia. Apesar da pequena amostragem, as informações indicam baixas possibilidades hidrogeológicas para o município de São Gonçalo do Amarante.

Tabela 12.5. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de S. G. do Amarante

Poço	Coord E	Coord S	EaqB	Q/s	Q _{max}	b ou h0	b'	T	K
			m	m ³ /h/m	m ³ /h	m	m	m ² /dia	m/dia
2	246907	9363291	80	5,5	60	33	22	185	5,6
3132/1	247453	9367755	60	3,6	30	39	0	121	3,1
2314	232841	9353305	44	4,0	15	31	0	195	6,3
PS-272	233585	9316385	50	-	-	-	-	-	-
PS-1147	247433	9372212	70	1,5	6	33	0	51	1,5
Média	-	-	61	3,7	28	34	-	138	4,1
Máximo	-	-	80	5,5	60	39	-	195	6,3
Mínimo	-	-	44	1,5	6	31	-	51	1,5
n	-	-	5	4	4	4	-	4	4

EaqB: espessura do SAB; Q/s: vazão específica; Q_{max}: vazão máxima; b ou h0: espessura saturada do SAB; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; n: contagem de dados.

Município de Macaíba

Os valores de vazão específica variaram de 0,1 m³/h/m a 17,5 m³/h/m, com média de 5,7 m³/h/m. A espessura saturada variou de 16 m a 32 m, com média de 23 m. Dos nove poços avaliados (**Tabela 12.6**), oito deles mostraram a condição de aquífero livre (b' = 0). As transmissividades obtidas variaram de 1 m²/dia a 785 m²/dia, com média de 237 m²/dia. A maior parte do município apresenta valores de transmissividades compreendidos entre 50 m²/dia e 200 m²/dia, ou seja, valores baixos. Os valores mais elevados se verificam no extremo leste do município na bacia hidrográfica do rio Pirangi, onde são registrados valores superiores a 500 m²/dia (**Figura 12.17**). Os correspondentes valores de condutividade hidráulica foram: mínimo 0,1 m/dia; máximo 24,5 m/dia e valor médio de 9,1 m/dia.

Tabela 12.6. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Macaíba

Poço	Coord E	Coord S	EaqB	Q/s	Q _{max}	b ou h ₀	b'	T	K
			m	m ³ /h/m	m ³ /h	m	m	m ² /dia	m/dia
01-sind	246639	9352308	62	2,0	10	20	5	67	3,3
PS-0076	244400	9352770	56	3,0	5	18	0	101	5,6
PS-1054	233279	9336236	34	5,5	6	23	0	185	8,1
PS-1249	239910	9350331	30	0,1	1	27	0	2	0,1
PS-222	241680	9347230	36	2,4	5	16	0	84	5,3
PT-01	231584	9332490	37	6,5	30	25	0	431	17,2
PT021	246589	9349298	60	17,5	60	32	0	785	24,5
PS-1295	235204	9348290	24	0,1	2	17	0	1	0,1
PT022	245480	9350584	59	14,0	60	27	0	472	17,5
Média	-	-	44	5,7	20	23	-	237	9,1
Máximo	-	-	62	17,5	60	32	-	785	24,5
Mínimo	-	-	24	0,1	1	16	-	1	0,1
n	-	-	9	9	9	9	-	9	9

EaqB: espessura do SAB; Q/s: vazão específica; Q_{max}: vazão máxima; b ou h₀: espessura saturada do SAB; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; n: contagem de dados.

Município de Natal

Os valores de vazão específica variaram de 1,1 m³/h/m a 50,0 m³/h/m, com média de 12,9 m³/h/m. A espessura saturada variou de 11 m a 69 m, com média de 40 m. A coluna b' da **Tabela 12.7**, espessura da camada semi-confinante, indica que na zona norte a condição de aquífero livre se verifica bastante. As transmissividades obtidas variaram de 34 m²/dia a 2.851 m²/dia, com média de 522 m²/dia. Na zona norte os maiores valores de transmissividade se verificam no setor setentrional, onde as transmissividades ficam compreendidas entre 200 e mais de 500 m²/dia (**Figura 12.17**). Na zona sul as maiores transmissividades se verificam no setor meridional da mesma, com valores que chegam a mais de 500 m²/dia. Os valores de condutividade hidráulica verificados foram: mínimo 0,8 m/dia; máximo 58,7 m/dia; e médio de 13,2 m/dia.

Na zona norte de Natal foi executado em junho de 2008 a perfuração de um poço totalmente penetrante no Sistema Aquífero Barreiras (corresponde ao poço Pufnr, na **Tabela 12.7**), com profundidade de 56 m, na localidade de Gramorezinho, que apresenta um comportamento diferente com relação ao esperado: verificou-se a presença de um aquífero superior livre até a profundidade de 30 m e de um aquífero inferior, semiconfinado no intervalo de 44 m a 55 m, separados por uma sequência de argilitos com intercalações arenosas, portanto, com características de aquitarde com espessura total de 14 m. A uma distância de 15 m do poço

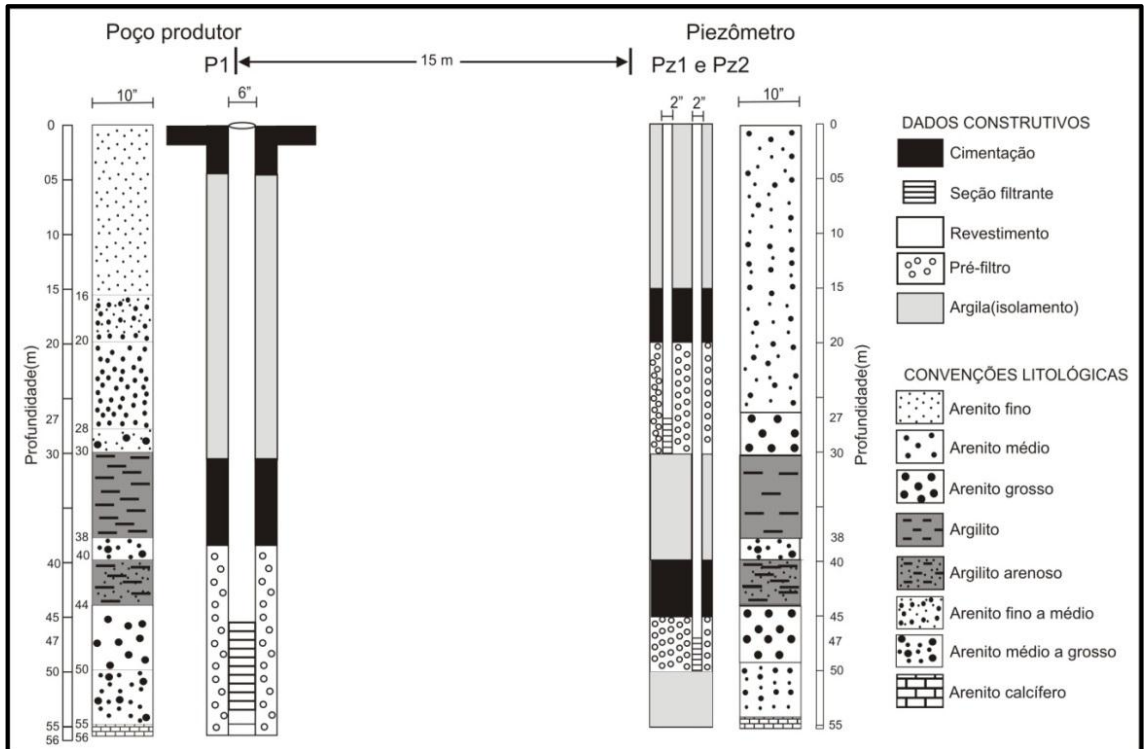


Figura 12.19. Perfis litológicos e construtivos de poço de bombeamento e sistema múltiplo de piezômetros em Gramorezinho/Natal (MELO *et al.* 2009)

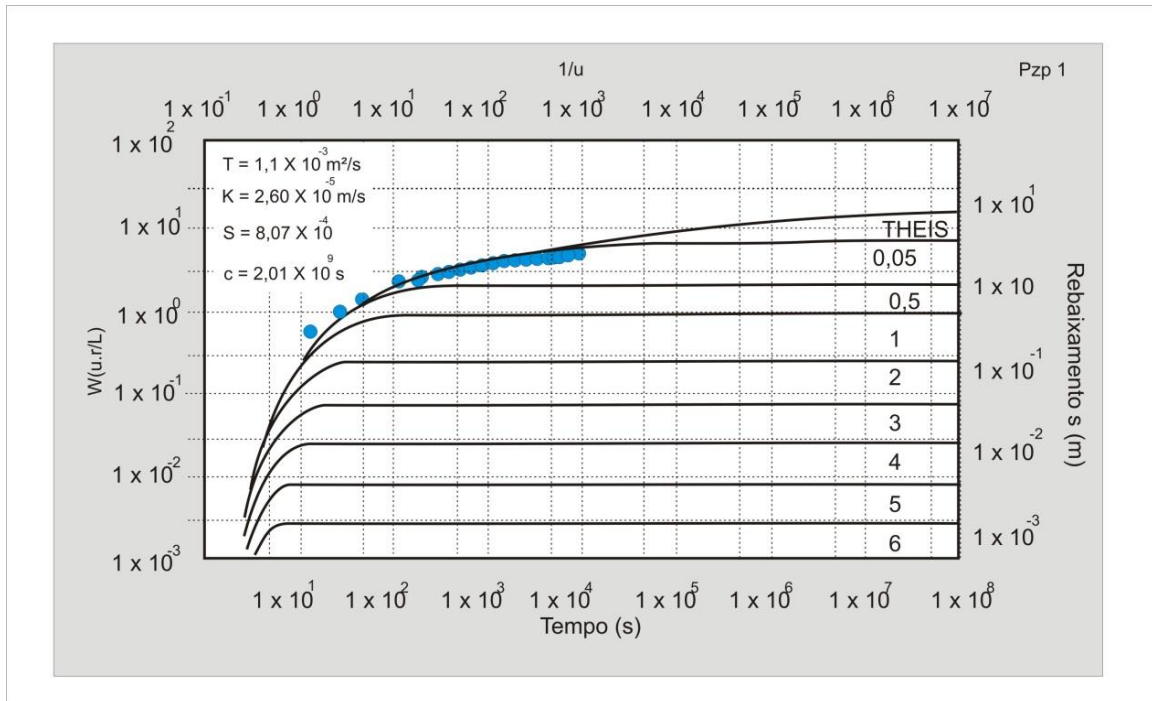


Figura 12.20. Curva rebaixamento tempo - Pz2 - Método de Walton, aquíferos semiconfinados drenantes, Gramorezinho/Natal (MELO *et al.* 2009)

Tabela 12.7. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Natal

Poço	Coord E	Coord S	EaqB	Q/s	Qmax	b ou h0	b'	T	K	K'	S
			(m)	m ³ /h/m	m ³ /h	(m)	(m)	m ² /dia	m/dia	m/dia	x10 ⁻³
PT-46RDO	251281	9368435	-	16,9	120	34	16	570	16,8	-	-
PT-48RDO	251647	9368129	78	11	100	32	14	372	11,6	-	-
P-ufm	249789	9368516	55	-	-	11	14	95	2,2	6,0x10 ⁻⁴	0,8
PT35a	250066	9363032	70	1,1	20	42	0	34	0,8	-	-
PT11A GRM	250345	9366488	59	8	70	31	0	270	8,8	-	-
PT40JPR	247646	9356922	58	2,5	33	38	0	84	2,2	-	-
PT41GRM	247646	9365922	52	11	80	44	0	371	8,4	-	-
PT42AJPG	246855	9365542	58	6,5	40	25	12	219	8,8	-	-
PT43BRN	252617	9365627	82	1,5	20	52	0	51	1,3	-	-
PT04b-GRA	250969	9366430	63	5,5	90	40	0	185	4,6	-	-
PT050SOL	250437	9364146	68	4,3	30	40	14	145	3,6	-	-
PT44POT	252154	9363060	99	2,7	40	63	0	91	1,4	-	-
PTGRM	250655	9366848	57	14	90	42	8	472	11,2	-	-
PT09GRM	250888	9366667	56	28,7		42	0	967	23	-	-
PT07AGRM	250468	9366346	63	31	100	34	0	1045	30,4	-	-
PT06AGRM	251068	9366753	58	20	80	42	0	674	16	-	-
PT17JPG	247949	9366011	59	4,4	40	36	0	148	4,1	-	-
PT24LAZ	249245	9367497	57	50	120	42	0	1685	40,1	-	-
PT27NNT	248940	9365835	57	2,4	30	20	3	81	4	-	-
PT01B	251206	9366583	51	16,7	100	43	0	563	13,1	-	-
PT28nnt	248568	9366322	54	50	130	29	0	1685	58,7	-	-
PT31BRN	252576	9365136	91	5	50	63	0	169	2,7	-	-
PT9	256185	9352780	91	7	120	47	18	236	5	-	-
PT11A	256334	9353330	93	30	80	54	0	2851	52,8	-	-
PT15	255200	9352429	84	23	120	52	0	836	16,1	-	-
P2	257844	9348735	85	3,5	60	53	0	118	2,2	-	-
P2	258505	9349379	95	5	70	48	8	527	10,8	-	-
P5	258030	9340898	81	14	80	37	17	765	17,7	-	-
P12	258219	9348193	90	16	100	69	0	539	7,8	-	-
PT7	255186	9350020	78	14	90	30	22	302	9,1	-	-
PT2	253862	9353644	96	40	120	44	10	1348	30,6	-	-
PT4	253597	9353076	82	17	136	45	5	573	12,7	-	-
PT5	253475	9352558	82	30	200	29	5	1011	34,9	-	-
PT6	253475	9352558	92	35	80	42	0	1179	28,1	-	-
PT7	253396	9352284	77	30	200	41	0	1011	24,7	-	-
PT8	253957	9353782	88	40	200	45	5	1832	45,8	-	-
PT12	254953	9355217	77	-	-	-	-	-	-	-	-
PT13	255005	9355018	81	-	-	-	-	-	-	-	-
PT14	254563	9355126	86	-	-	-	-	-	-	-	-
P10	254956	9355448	80	3	30	27	18	101	3,7	-	-
P11	255123	9355274	70	10	80	32	12	337	10,5	-	-
PT14	251309	9356141	71	-	35	38	0	-	-	-	-
PT15	251396	9355556	76	4	45	29	14	135	4,6	-	-
PT12	249578	9355510	67	2	40	31	0	147	4,1	-	-
P01	250899	9355359	72	3	40	42	3	208	5	-	-
P02	250789	9355466	67	3	30	40	0	199	5	-	-
PT-13A	251269	9355690	81	4	40	44	0	135	3,1	-	-
PT-06A	251108	9355120	74	4	50	44	10	251	6,3	-	-
PT-10A	249422	9355686	65	3	20	28	0	101	3,6	-	-
PT02	252474	9356000	80	2,5	60	59	0	458	13	-	-
PT-01	253789	9357583	85	1,5	30	56	4	138	4,2	-	-

Tabela 12.7. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Natal (continuação)

Poço	Coord E	Coord S	EaqB	Q/s	Qmax	b ou h0	b'	T	K	K'	S
			(m)	m ³ /h/m	m ³ /h	(m)	(m)	m ² /dia	m/dia	m/dia	x10 ⁻³
P01	258358	9358740	72	3	40	31	10	259	9,2	-	-
P01	251915	9356339	72	3	25	34	6	130	5,1	-	-
PT01	252848	9357229	75	4,5	50	41	7	152	3	-	-
PT-11	250917	9355646	70	4	35	40	0	251	6	-	-
PT01	251468	9358867	68	4	20	33	0	138	5,2	-	-
PT-2	252818	9354350	84	20	100	33	23	1037	26,8	-	-
PT01	252735	9354407	83	20	100	34	17	1296	31,1	-	-
P21Blinf	261134	9345146	72	2,5	40	48	-	150	3,1	-	110
Média	-	-	74	12,9	73	40	-	522	13,2	-	-
Máxima	-	-	99	50	200	69	-	2851	58,7	-	-
Mínima	-	-	51	1,1	20	11	-	34	0,8	-	-
n	-	-	58	54	54	56	-	55	55	-	-

EaqB: espessura do SAB; Q/s: vazão específica; Qmax: vazão máxima; b ou h0: espessura saturada do SAB; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; S: coeficiente de armazenamento; K': condutividade hidráulica da camada semi-confinante; n: contagem de dados.

Município de Monte Alegre

Os valores de vazão específica variaram de 0,1 m³/h/m a 8,0 m³/h/m, com média de 2,2 m³/h/m. A espessura saturada variou de 8 m a 14 m, com média de 12 m. Dos cinco poços avaliados (**Tabela 12.8**), os perfis litológicos e construtivos de dois deles sugerem a condição de aquífero livre (b' = 0), e, no caso de três deles, condições de semiconfinamento são mais prováveis. As transmissividades do Sistema Aquífero Barreiras no município de Monte Alegre obtidas variaram de 2 m²/dia a 302 m²/dia, com média de 100 m²/dia. No mapa de transmissividade, **Figura 12.17**, as transmissividades, entretanto, estão enquadradas na faixa de 50 a 200 e inferior a 50 m²/dia. Os correspondentes valores de condutividade hidráulica variaram de 0,2 a 21,6 m/dia, com média de 8,6 m/dia. Essas características sugerem que o Sistema Aquífero Barreiras no município de Monte Alegre é de baixa potencialidade hidrogeológica.

Tabela 12.8. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Monte Alegre

Poço	Coord E	Coord S	EaqB	Q/s	Q _{max}	b ou h0	b'	T	K
			m	m ³ /h/m	m ³ /h	m	m	m ² /dia	m/dia
PS-251	238970	9332980	26	0,4	3	14	0	14	1,0
PS-1168	240012	9327544	22	0,1	1	14	0	2	0,2
P01B	247305	9333306	39	1,0	20	12	16	61	5,1
PT-04	247610	9333668	40	8,0	50	14	12	302	21,6
PT-06	247818	9333982	37	1,5	12	8	11	122	15,2
Média	-	-	33	2,2	17	12	-	100	8,6
Máximo	-	-	40	8,0	50	14	-	302	21,6
Mínimo	-	-	22	0,1	1	8	-	2	0,2
n	-	-	5	5	5	5	-	5	5

EaqB: espessura do SAB; Q/S: vazão específica; Qmax: vazão máxima; b ou h0: espessura saturada do SAB; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; n: contagem de dados.

Município de Parnamirim

Os valores de vazão específica variaram de 4,3 m³/h/m a 28,0 m³/h/m, com média de 12,9 m³/h/m. A espessura saturada variou de 13 m a 54 m, com média de 30 m. A coluna b' da **Tabela 12.9**, camada semi-confinante, indica que no município de Parnamirim a condição de aquífero livre também se verifica, porém numa escala reduzida. As transmissividades obtidas variaram de 145 m²/dia a 944 m²/dia, com média de 482 m²/dia, que permite enquadrar o município de Parnamirim como uma das áreas de maior transmissividade na RMN. O mapa de zoneamento das transmissividades (**Figura 12.17**) mostram que a cidade de Parnamirim está situada no domínio de maior potencialidade com transmissividades na faixa de 350 m²/dia a mais de 500 m²/dia. Os valores de condutividade hidráulica variam de 4,9 m/dia a 66,1 m/dia, com média de 20,6 m/dia.

Tabela 12.9. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Parnamirim											
Poço	Coord E	Coord S	EaqB	Q/s	Q _{max}	b ou h ₀	b'	T	K	K'	S
			m	m ³ /h/m	m ³ /h	m	m	m ² /dia	m/dia	m/dia	x10 ⁻³
PT-03	257884	9345453	59	13	100	54	0	438	8,2	-	-
P 04	257646	9345117	49	6	90	47	0	311	66,1	-	-
PT-05	257580	9344984	47	6,5	80	45	0	393	4,9	-	-
PT-06	257605	9345719	76	10,5	80	50	0	584	11,7	-	-
PT-07	258053	9345396	52	4,5	72	37	12	330	8,9	-	-
PP1	251500	9350600	55	5,5	60	24	22	430	26,9	1,7x10 ⁻³	0,15
PT01	249246	9345020	75	12,8	70	25	19	433	17,3	-	-
PT03	249569	9344986	73	19,5	95	33	18	797	14,9	-	-
PT4	249767	9344774	60	22	100	37	4	741	20	-	-
PT9	248725	9345044	66	26,4	90	43	0	890	20,7	-	-
PT10	248725	9450044	66	-	80	31	7	-	-	-	-
PT20	252299	9349324	50	23,6	70	16	14	795	49,7	-	-
PT22	250926	9349404	86	-	-	39	21	-	-	-	-
PT29	249139	9347150	66	14,7	80	28	11	495	17,7	-	-
PT31	245912	9343164	53	14,4	50	16	15	485	30,3	-	-
PT33	245165	9345866	47	5,5	30	16	12	185	11,6	-	-
PT36	247796	9344796	64	22	60	37	4	741	20	-	-
P37	248559	9347998	46	15	50	15	5	505	33,7	-	-
P39	251213	9342988	62	7,1	40	13	8	239	18,4	-	-
P40	250051	9344674	60	28	100	29	10	944	32,5	-	-
P42	246937	9343013	44	4,3	30	19	14	145	7,8	-	-
P43	249356	9347855	74	7,5	40	30	13	253	8,4	-	-
P44	246346	9343892	47	4,3	50	20	11	145	7,2	-	-
P48	246680	9345111	57	9,8	60	21	14	330	15,7	-	-
Média	-	-	60	12,9	69	30	-	482	20,6	-	-
Máximo	-	-	86	28,0	100	54	-	944	66,1	-	-
Mínimo	-	-	44	4,3	30	13	-	145	4,9	-	-
n	-	-	24	22	23	24	-	22	22	-	-

EaqB: espessura do SAB; Q/s: vazão específica; Q_{max}: vazão máxima; b ou h₀: espessura saturada do SAB; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; S: coeficiente de armazenamento; K': condutividade hidráulica da camada semi-confinante; n: contagem de dados.

Foi realizado um teste de aquífero com dispositivo de poço de observação na localidade de Emaus (MELO, 2009). Foi bombeado o poço PP1 (**Tabela 12.9** e **Figura 12.21**) com 56 m de profundidade, totalmente penetrante no Sistema Aquífero Barreiras, por um período de 36 horas com bomba submersa, com observação dos abaixamentos dos níveis de água no piezômetro PzP1 distanciado de 20 m desse poço. A descarga de bombeamento foi de 45,7 m³/h, a qual se manteve praticamente constante durante o período de bombeamento. Na interpretação dos resultados, foi aplicado o método de Walton válido para aquíferos semiconfinados drenantes (**Figura 12.22**), que forneceu os seguintes resultados:

Transmissividade (T) de $4,98 \times 10^{-3}$ m²/s ou 430,3 m²/dia;

Condutividade hidráulica (K) de $3,11 \times 10^{-4}$ m/s ou 26,9 m/dia;

A condutividade hidráulica da camada semi-confinante (k'): $2,0 \times 10^{-8}$ m/s (valor característico de argilas arenosas, areias argilosas e siltitos);

Coefficiente de armazenamento (S): $1,48 \times 10^{-4}$

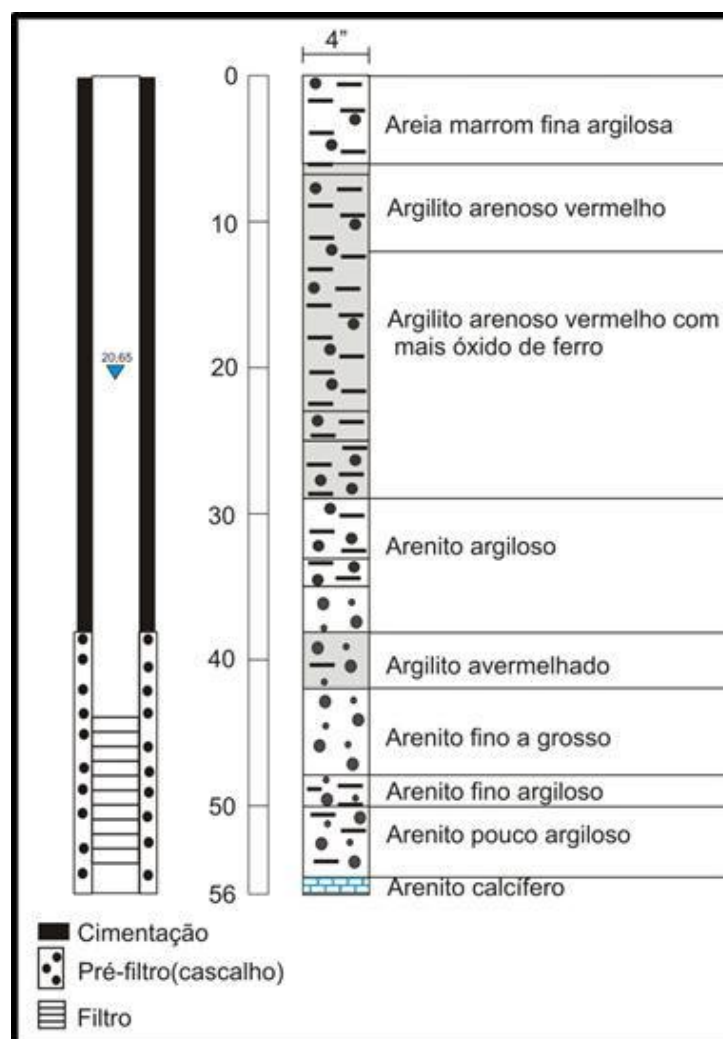


Figura 12.21. Perfil litológico e construtivo do poço PP1

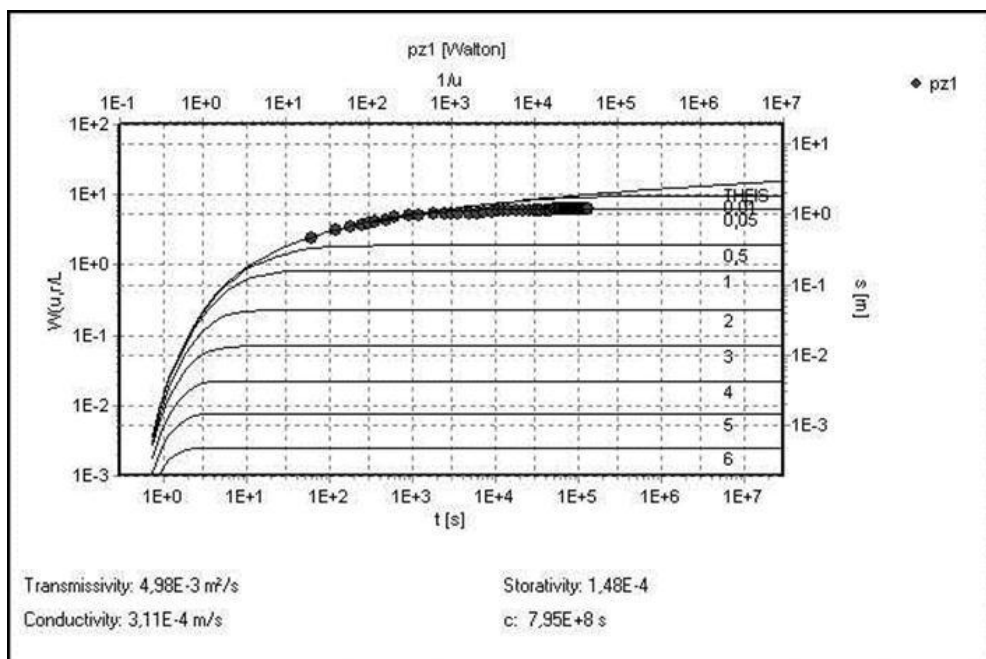


Figura 12.22. Aplicação do método de Walton aos dados de rebaixamento do piezômetro situado a 20 m do poço PP1

Município de São José de Mipibú

Os valores de vazão específica variaram de 0,3 m³/h/m a 10,0 m³/h/m, com média de 4,8 m³/h/m. A espessura saturada variou de 17 m a 35 m, com média de 25 m. De 10 poços avaliados apenas dois sugerem condições de semi-confinamento, portanto a maioria dos casos os perfis litológicos e construtivos indicam condições de aquífero livre ($b' = 0$). As transmissividades do Sistema Aquífero Barreiras no município São José de Mipibú obtidas variaram de 1 m²/dia a 663 m²/dia, com média de 279 m²/dia.

Na parte meridional do município, onde a superfície do mesmo é drenada pelo rio Trairi, o aquífero possui baixa potencialidade hidrogeológica, cuja transmissividade hidráulica é inferior a 200 m²/dia, enquanto que na sua porção setentrional, drenada por afluentes do rio Pirangi, as transmissividades podem alcançar valores de 200 a 350 m²/dia, atingindo valores mais elevados no seu limite leste, contíguo ao complexo lagunar do Bonfim. Os correspondentes valores de condutividade hidráulica variaram de 0,02 a 38,4 m/dia, com média de 12,2 m/dia (Tabela 12.10).

Tabela 12.10. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de S. J. do Mibipu

Poço	Coord E	Coord S	EaqB	Q/s	Q _{max}	b ou h0	b'	T	K
			m	m ³ /h/m	m ³ /h	m	m	m ² /dia	m/dia
PS-1090	246208	9335390	48	1,2	15	24	0	19	0,8
PS-0113	250690	9323750	32	1,5	12	24	0	98	4,1
PS-0142	251770	9328650	19	0,8	4	17	0	25	1,5
1691	245250	9333945	58	6,0	50	20	26	316	15,8
1689	245267	9333974	52	4,5	30	35	0	106	3,0
2096	249331	9339223	60	8,0	30	27	0	270	10,0
PS-1064	246016	9328776	54	0,3	5	34	0	1	0,02
PT01B	252935	9327980	39	8,0	50	17	4	653	38,4
PT-04	252990	9327922	36	8,0	50	35	0	640	18,1
PT-07	252098	9329840	78	10,0	100	22	16	663	30,2
Média	-	-	48	4,8	35	25	-	279	12,2
Máxima	-	-	78	10,0	100	35	-	663	38,4
Mínimo	-	-	19	0,3	4	17	-	1	0,02
n	-	-	10	10	10	10	-	10	10

EaqB: espessura do SAB; Q/S: vazão específica; Q_{max}: vazão máxima; b ou h0: espessura saturada do SAB; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; n: contagem de dados.

Município de Nísia Floresta

Os valores de vazão específica variaram de 0,5 m³/h/m a 16,8 m³/h/m, com média de 5,7 m³/h/m. A espessura saturada variou de 7 m a 61 m, com média de 40 m. De um modo geral, o Sistema Aquífero Barreiras no município de Nísia Floresta comporta-se como semiconfinado, havendo poucos casos em que a condição de aquífero livre ocorre. As transmissividades do Sistema Aquífero Barreiras obtidas variaram de 16 m²/dia a 674 m²/dia, com média de 239 m²/dia. As potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras são mais elevadas no limite oeste do município, no domínio do complexo lagunar do Bonfim, e, no setor mais a norte, já no sistema fluvial do rio Pirangi, onde são alcançadas transmissividades superiores a 350 m²/dia.

Os correspondentes valores de condutividade hidráulica variaram de 0,3 a 691,2 m/dia, com média de 39,9 m/dia. As condutividades hidráulicas da camada semiconfinante foram avaliadas com base nos resultados dos testes de aquífero nos poços que integram o sistema de captação de água da adutora Monsenhor Expedito (poços P1 a P7, **Tabela 12.11**).

As condutividades hidráulicas avaliadas variaram de 1,3x10⁻³ m/dia a 4,1x10⁻³ m/dia, com média de 3,0x10⁻³ m/dia ou 3,5x10⁻⁸ m/s, que é característico de argilitos arenosos. Convém ressaltar, que a espessura dessa camada semi-

confinante é muito pequena, variando de 2 a 7 m. Na área são identificados dois aquíferos, um superior, livre que engloba dunas e a parte superior do Barreiras, e um inferior semiconfinado, que constitui o aquífero Barreiras propriamente dito, separados pela camada de argilito com características de aquitarde (**Figura 12.18**).

Tabela 12.11. Parâmetros hidráulicos do SAB no município de Nísia Floresta

Poço	Coord E	Coord S	EaqB	Q/s	Q _{max}	b ou h ₀	b'	T	K	K'	S
			m	m ³ /h/m	m ³ /h	m	m	m ² /dia	m/dia	m/dia	x10 ⁻³
PT 02	257401	9327068	42	2,0	15	22	17	67	3,1	-	-
PT-02	252918	9329016	81	11,0	30	7	31	371	53,0	-	-
1(A)	252000	9330000	33	5,0	30	20	11	207	10,4	-	-
Poço 3	245000	9334000	58	4,0	34	30	11	534	17,8	-	-
341	256000	9326000	52	2,0	36	50	0	156	2,8	-	-
PT-02	267219	9329632	100	0,5	15	61	20	17	0,3	-	-
PT-01	260900	9324000	78	1,0	4	30	0	34	1,1	-	-
PS-1233	257520	9327842	60	0,7	15	18	24	16	0,9	-	-
PS-1231	256851	9328319	60	2,5	50	26	20	84	3,2	-	-
PS-112	256500	9331260	57	1,0	30	25	10	34	1,3	-	-
2326	257330	9342450	77	1,5	30	47	0	59	1,3	-	-
P7	252700	9328600	92	16,8	100	52	3	674	16,2	2,8x10 ⁻³	1,0
P6	252000	9334000	100	5,9	100	47	3	264	691,2	2,6x10 ⁻³	0,2
P5	252540	9333960	100	9,4	120	41	5	349	9,2	3,4x10 ⁻³	0,3
P4	252540	9333460	100	12,9	150	45	2	506	13,9	1,3x10 ⁻³	0,5
P3	252290	9332460	94	8,0	80	40	7	418	10,1	3,7x10 ⁻³	0,3
P2	253700	9329500	90	14,9	130	39	6	359	8,8	3,2x10 ⁻³	0,3
P1	254200	9329000	90	10,0	150	36	7	334	17,4	4,1x10 ⁻³	1,6
NZF0404	261398	9335269	104	1,1	56	54	19	-	-	-	-
NZF0405	261462	9335256	109	-	-	60	13	200	3,9	-	0,4
PS-B1	261620	9328010	77	-	75	47	-	-	-	-	-
PZ1-B1	261447	9327892	75	-	-	55	-	-	-	-	-
PZ2-B1	261620	9328010	78	-	-	45	-	194	4,1	-	-
PZ3-B1	261828	9328233	82	-	-	60	-	-	-	-	-
PZ4-B1	261628	9328001	68	-	-	36	-	194	4,1	-	-
PS-B2	265136	9326650	99	2,9	112	55	-	183	3,3	-	-
PZ1-B2	264767	9326505	98	-	-	34	-	-	-	-	-
PZ2-B2	265394	9326762	90	-	-	36	-	-	-	-	-
Média	-	-	80	5,7	65	40	-	239	39,9	-	-
Máximo	-	-	109	16,8	150	61	-	674	691,2	-	-
Mínimo	-	-	33	0,5	4	7	-	16	0,3	-	-
n	-	-	28	20	21	28	-	22	22	-	-

EaqB: espessura do SAB; Q/s: vazão específica; Q_{max}: vazão máxima; b ou h₀: espessura saturada do SAB; b': espessura da camada semiconfinante; T: transmissividade; K: condutividade hidráulica do aquífero; S: coeficiente de armazenamento; K': condutividade hidráulica da camada semi-confinante; n: contagem de dados.

12.3 Reservas

No contexto mais básico do ciclo hidrológico, as águas de chuva precipitam-se sobre a superfície da terra e parte dessa água se infiltra no terreno e alcançam as águas subterrâneas ou os estratos sedimentares que constituem aquíferos. Esses estratos geológicos contêm dimensões definidas e diferentes condições no armazenamento de água que dependem da litologia, disposição relativa das camadas e caráter estrutural das mesmas, podendo comportar uma quantidade maior ou menor de água. Parte dessas águas que ficam armazenadas nos estratos geológicos ficam presas nos interstícios das mesmas devido às forças moleculares (coesão) e adesão, e o restante é liberável por ação gravitacional ou bombeamento de poços. Este volume de água liberável constitui o que se chama de **reservas**, as quais, em geral, são referidas a um ano hidrológico.

Na avaliação das reservas de um aquífero ou camada geológica saturada com água, um parâmetro fundamental a ser considerado é a porosidade eficaz ou porosidade específica que representa o volume de água liberável armazenado sobre o volume total da rocha, que é característico de aquífero livre sob pressão atmosférica, o qual no caso de aquífero confinado constitui o coeficiente de armazenamento do aquífero, em geral submetidos a pressões maiores que a da atmosfera.

As reservas de águas subterrâneas no caso de aquíferos livre, de forma didática, podem ser reguladoras, permanentes e totais; enquanto que no caso de aquífero confinado as reservas podem ser permanentes, do volume de água sob pressão e reservas totais. O sistema Aquífero Barreiras é um sistema predominantemente livre, recarregado diretamente pelas chuvas, embora apresente semiconfinamentos localizados, que se pronunciam mais predominantemente durante o bombeamento de poços. Assim sendo, na avaliação de reservas o Barreiras será tratado como um sistema aquífero livre, portanto, serão definidas para o conjunto, as reservas reguladoras, as reservas permanentes e as reservas totais. Convém ressaltar, o grau de dificuldade ou até mesmo impossibilidade de delimitação de uma área onde o sistema aquífero Barreiras seja semiconfinado, haja vista a grande heterogeneidade do mesmo.

12.3.1 Reservas Reguladoras

Reservas reguladoras correspondem ao volume de água livre armazenado em um aquífero limitado por dois níveis potenciométricos extremos, mínimo e máximo, da superfície potenciométrica no curso de um período considerado: um ano hidrológico determinado ou um ano hidrológico médio (CASTANY, 1975). Ainda, as reservas reguladoras correspondem a variação das reservas dentro de um ano e são as que contribuem para a vazão de base dos rios (CUSTODIO; LLAMAS,

2001). Na avaliação das reservas reguladoras é necessário conhecer essas variações e a porosidade eficaz da parte do aquífero sujeito a variação sazonal.

Dentre as diversas metodologias indicadas para estimativa das RR, uma comumente empregada é avaliada com base nas variações de carga hidráulica com a aplicação do “*Water - Table Fluctuation Method*”, cuja equação é a seguinte:

$$RR = dhS_y \text{ ou } RR = AdhS_y \quad (19)$$

Onde:

A é área de ocorrência do aquífero livre, sujeito a variação sazonal do nível d’água;

dh é a variação de carga entre o nível d’água máximo e mínimo da superfície potenciométrica (m);

S_y é a porosidade eficaz ou rendimento específico (specific yield) do aquífero (adimensional). Ver Healy e Cook (2002).

As dificuldades de aplicação dessa equação estão associadas em parte a obtenção de dados de variação de carga hidráulica (dh), o que requer o monitoramento dos níveis de água em poços ao longo do tempo, cujo número de pontos é função da precisão desejada, em conformidade com os objetivos do trabalho. A porosidade efetiva constitui um parâmetro de difícil avaliação e sua obtenção requer, em geral, a realização de testes de aquífero de longa duração.

A maioria dos trabalhos de hidrogeologia realizados costuma estimar reserva reguladora e em alguns casos recursos explotáveis do aquífero Barreiras no domínio da faixa costeira do estado do Rio Grande do Norte tomando por base um valor de variação sazonal de 1,6 m obtido pelo IPT (1982).

Em estudo mais recente, na bacia hidrográfica do rio Pirangi (LUCENA *et al.* 2004) apresentam o comportamento da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Barreiras no período chuvoso (agosto 2000) e no período de estiagem (março de 2001), conforme já apresentado anteriormente. A análise dos referidos mapas permitiram verificar que as cargas potenciométricas variaram de 0,76 m a 3,45 m, com média de 2,17 m. Nas zonas de tabuleiros as variações de carga são maiores que nas zonas de maior declividade e nos vales.

A área de ocorrência do Sistema Aquífero Barreiras na bacia do rio Pirangi é de 420 km², a variação de carga potenciométrica, é em média de aproximadamente 2 m e a porosidade efetiva 10%, obtido na Região de Natal (CAERN, 1998). Aplicando a equação, resulta na RR de 84x10⁶ m³.

As reservas reguladoras foram também avaliadas de forma indireta, com base em dados de recessão aplicados as bacias dos rios Pirangi, Maxaranguape e Riacho Boa Cica, conforme apresentado a seguir:

Um curso de água ou uma fonte, na ausência de precipitação, e, portanto, em regime não influenciado, se alimenta mediante as águas subterrâneas correspondentes as reservas reguladoras das camadas aquíferas, acumuladas na bacia vertente ou nas estruturas hidrogeológicas no transcurso de uma determinada recarga (**Figura 12.23**).

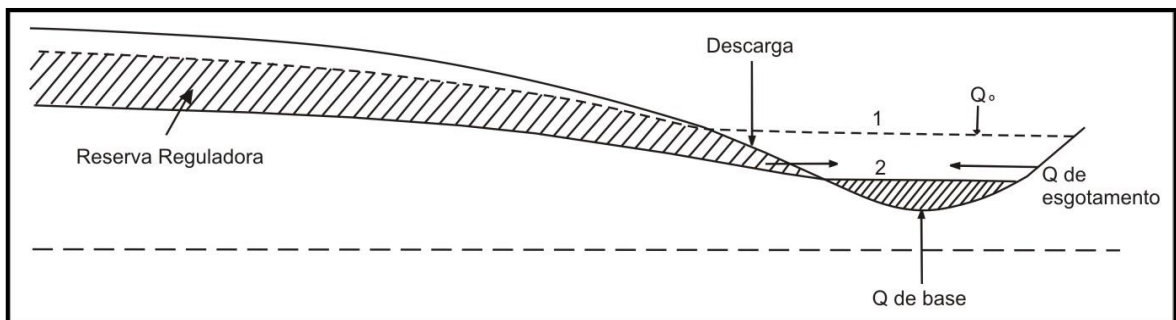


Figura 12.23. Descargas das reservas reguladoras que alimentam um curso de água

A curva de recessão, parte final da curva de rebaixamento de um hidrograma de uma bacia, ou seja, das vazões em função do tempo, expressa a lei da descarga de uma camada aquífera (**Figura 12.24**), a qual pode ser expressa pela seguinte equação exponencial (Formula de Maillet):

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (20)$$

onde:

Q_t é a vazão no instante t , em m^3/s ;

Q_0 é a vazão no início da recessão (instante t_0) em m^3/s

$e = 2,717$, a base dos logaritmos neperianos;

α é o coeficiente de recessão da bacia;

t é o tempo transcorrido desde o começo da recessão em dias

Na forma de logaritmos decimais, a equação de Millet, pode ser escrita conforme a seguir:

$$\lg Q_t = \lg Q_0 - (\alpha \lg e) t \text{ ou } \lg Q_t = \lg Q_0 - (\alpha 0,4343) t \quad (21)$$

A representação gráfica desta equação caracteriza uma reta que permite obter o valor do coeficiente de recessão e, por conseguinte, a expressão da equação de recessão da bacia.

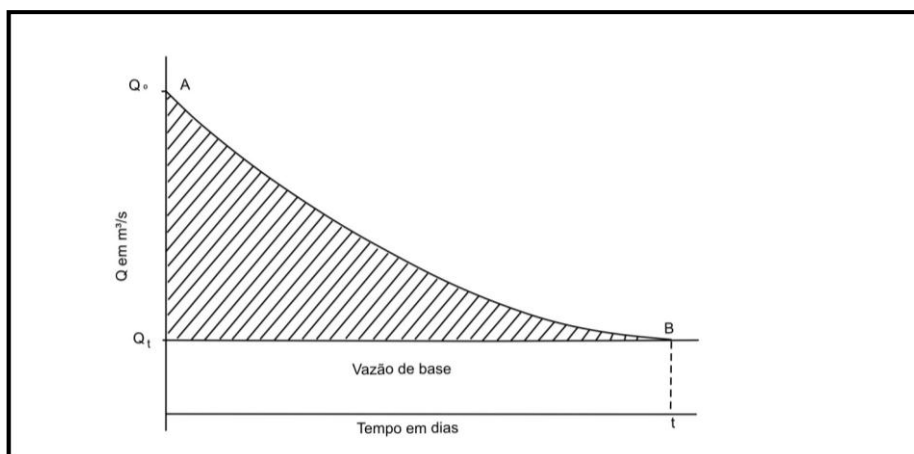


Figura 12.24. Curva de recessão do hidrograma de fluxo

Recessão na bacia hidrográfica do Rio Pirangi

Foram efetuadas medições mensais das descargas do rio Pirangi no seu curso mais inferior no período de fevereiro 2000 a dezembro 2001 (LUCENA *et al.* 2004). Os resultados obtidos (**Tabela 12.12**) foram interpretados tendo em vista a caracterização dos períodos de recessão (**Figura 12.25**).

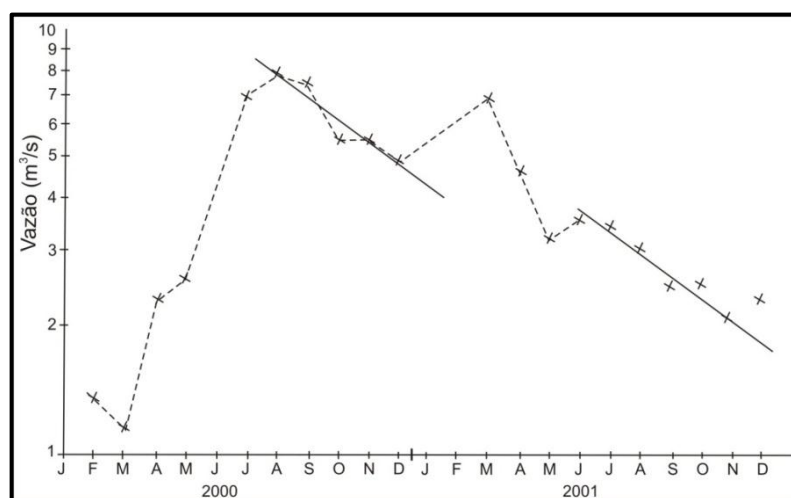


Figura 12.25. Caracterização da recessão na bacia do rio Pirangi

Tabela 12.12. Deflúvios da bacia hidrográfica do rio Pirangi (m ³ /s)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2000	-	1,37	1,14	2,29	2,56	-	6,97	7,84	7,52	5,54	5,47	4,92
2001	-	-	6,96	4,63	3,22	3,60	3,46	3,07	2,50	2,56	2,10	2,31

Fonte: Lucena *et al.* (2004)

As retas representativas das curvas de recessão aplicadas aos resultados das descargas do rio Pirangi obtidas para os anos 2000 e 2001 são apresentadas nas **Figuras 12.26 e 12.27**.

Observa-se que no ano de 2000, a descarga Q_0 na origem é de $8 \text{ m}^3/\text{s}$, e, para Q igual a $4 \text{ m}^3/\text{s}$, t é de 159 dias. No ano 2001, a descarga Q_0 na origem é de $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$ neste caso, tomando Q igual a $2 \text{ m}^3/\text{s}$, t é de 135 dias. Aplicando esses resultados na fórmula de Maillet (equação 20) resulta coeficientes de recessão praticamente iguais a $0,0043$. As equações correspondentes de recessão da bacia hidrográfica do rio Pirangi nos dois casos apresentados assumem a seguinte forma:

Ano 2000: $Q_t = 8e^{-0,0043t}$
 Ano 2001: $Q_t = 3,6 e^{-0,0043t}$

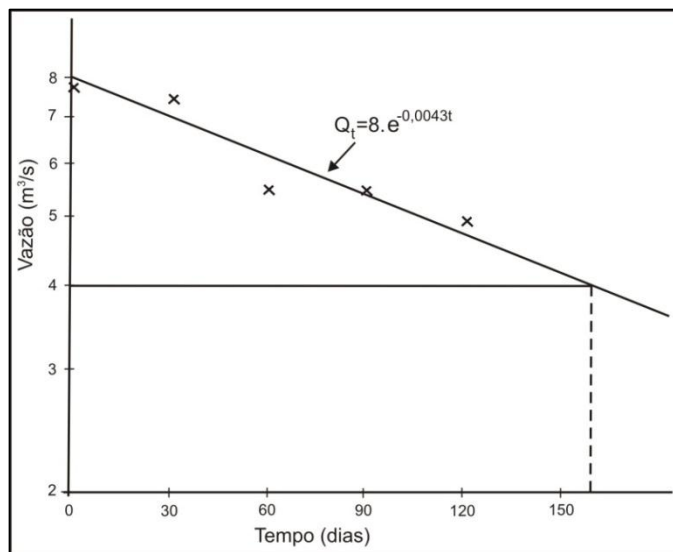


Figura 12.26. Recessão na bacia hidrográfica do rio Pirangi (2000)

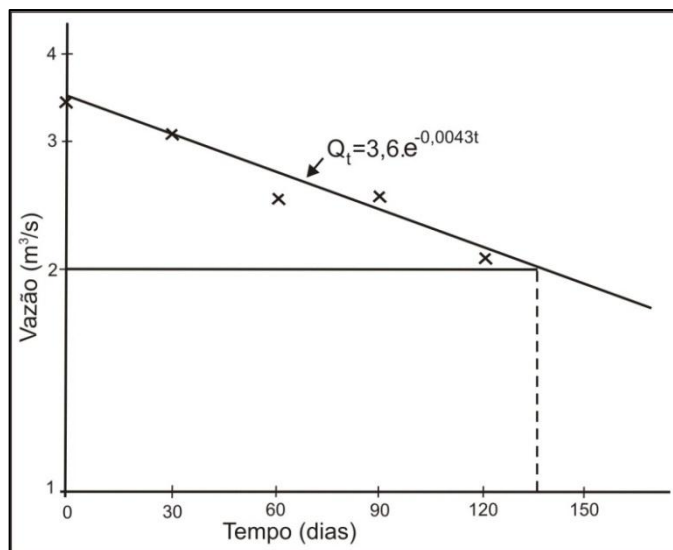


Figura 12.27. Recessão na bacia hidrográfica do rio Pirangi (2001)

As reservas reguladoras (RR) do aquífero podem ser expressas pela seguinte equação:

$$RR = \int_{t_0}^{\infty} Q_t dt, \quad (22)$$

ou

$$RR = \int_{t_0}^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt \quad (23)$$

com t em segundos, obtendo-se:

$$RR = \frac{Q_0}{\alpha} \quad \text{ou} \quad RR = \frac{86400 Q_0}{\alpha} \quad (24)$$

Aplicando a equação 24 aos respectivos casos em avaliação se obtém:

$$\text{Ano 2000: } RR = 160 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Ano 2001: } RR = 72 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Como pode ser observado as reservas reguladoras obtidas nos dois anos são muito diferentes. Isto ocorre haja vista que 2000 foi um ano de elevadas precipitações pluviométricas que ultrapassaram a média anual (1.539 mm) em cerca de 36%. Já em 2001 foi registrada uma precipitação de apenas 988 mm que se apresenta aproximadamente 36% mais baixa que a média anual. Considerando que a média entre as chuvas registradas nos dois anos corresponde praticamente a média geral de 1.539 mm, acha-se bastante salutar tomar como representativo das reservas reguladoras a média entre os valores obtidos, ou seja, $116 \times 10^6 \text{ m}^3$. Este valor corresponde a 18% das precipitações médias anuais.

Recessão na bacia hidrográfica do Rio Maxaranguape

Foram efetuadas medições da descarga de recessão na bacia do rio Maxaranguape, em uma campanha com 10 medições compreendidas entre agosto de 2007 a fevereiro de 2008, em duas seções: uma delas no próprio rio Maxaranguape (BR-101) e a outra no riacho Riachão (BR-101), realizadas pela CAERN (2008), conforme apresentado na parte dos estudos de hidrologia de superfície no Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas da Bacia Hidrográfica do Rio Maxaranguape (SEMARH, 2010).

A aplicação dos dados à equação da recessão levou a obtenção dos seguintes valores dos coeficientes de recessão da bacia nas seções do rio Maxaranguape (BR101) e riacho Riachão (BR 101):

Seção do Rio Maxaranguape: $\alpha = 0,0031$ (CAERN, 2008)

Seção do riacho Riachão: $\alpha = 0,0066$ (CAERN, 2008)

As equações das curvas de esgotamento ficaram assim definidas:

$$Qt = 2,86e^{-0,0031t} \text{ (Rio Maxaranguape)}$$

$$Qt = 1,50e^{-0,0066t} \text{ (Riacho Riachão)}$$

Observa-se que 2,86 m³/s é a vazão do rio Maxaranguape no início do esgotamento e 1,5 m³/s corresponde a vazão do riacho Riachão também no início do esgotamento.

As reservas reguladoras (RR) do aquífero foram estimadas pela aplicação da equação das respectivas equações da recessão apresentadas, e em seguida feita a compensação pelas contribuições atribuídas a fonte de Pureza para o rio Maxaranguape, tendo resultado:

$$RR_m = 72,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \text{ (seção Rio Maxaranguape)}$$

$$RR_R = 20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \text{ (seção do riacho Riachão)}$$

A RR efetiva do Sistema Aquífero Barreiras na bacia do rio Maxaranguape, no seu conjunto, é o somatório dos valores obtidos para as seções no rio Maxaranguape e riacho Riachão, ou seja, são da ordem de grandeza de $92,7 \times 10^6$ m³/ano. Este valor corresponde a 18% das precipitações médias anuais.

Admite-se que no curso superior da bacia, a contribuição de água subterrânea das rochas das formações Jandaíra e Açú é muito pequena ou praticamente nula.

Recessão na bacia do riacho Boa Cica (Escoamento difuso)

Na região do complexo lagunar do Bonfim com base em três medições da descarga do riacho Boa Cica, mesmo sem caracterizar a curva da recessão (SERHID, 1998a) o autor estimou uma lâmina de água infiltrada de 261,0 mm/ano, que corresponde a uma taxa de infiltração de 16% tomando por base a lâmina de água média total precipitada de 1.585,6 mm no domínio da área. No âmbito da faixa costeira leste do Estado do Rio Grande do Norte, no Plano de Recursos Hídricos do Estado (SERHID, 1998a), esse foi o valor tomado como referência de forma linear nas avaliações dos recursos exploráveis por bacia hidrográfica e por município.

Reservas reguladoras do SAB na área dos municípios da RMN

Tendo em vista que os dados disponíveis para aplicação do método hidrológico para avaliação das RR são muito mais consistentes que os dados para o cálculo pelo método convencional “*Water - Table Fluctuation Method*”, conforme discutido anteriormente, optou-se pela aplicação do método hidrológico, conforme apresentado a seguir.

As bacias hidrográficas dos rios Pirangi e Maxaranguape apresentaram comportamento similares quanto a hidrógrafa da recessão observadas e a reservas reguladoras estimadas apresentaram o mesmo percentual de 18% com relação as respectivas precipitações pluviométricas médias. Acrescente a isso, a similaridade geológica, estrutural e hidrogeológica com as demais bacias da RMN. Assim sendo, as RR no domínio dos municípios foram avaliadas com base no percentual de 18% com relação as respectivas médias pluviométricas, que no caso, foram aplicadas aos blocos com diferentes regime de chuvas e, em seguida, os valores foram somados para representar as reservas reguladoras no âmbito de cada município (**Tabela 12.13**).

A equação utilizada para o cálculo das reservas reguladoras foi a seguinte:

$$RR = API \quad (25)$$

onde:

RR = reservas reguladoras (m³/ano)

A = área considerada (km²)

P = precipitação média considerada (mm/ano)

I = taxa de infiltração adotada (%)

No âmbito dos municípios, as RR variaram de um mínimo de 22,5 milhões de metros cúbicos de água, no município de Monte Alegre a um máximo de 121,3 milhões de m³, em Ceará-Mirim, seguido de Nísia Floresta com 72,3 milhões de m³. Tomando a RMN como um todo, as RR foram estimadas em 478,3 milhões de m³ de água (**Tabela 12.13**).

12.3.2 Reservas Permanentes

As reservas permanentes (RP) correspondem ao volume de água armazenado no aquífero situado abaixo das reservas reguladoras, portanto, sob o nível d' água mais baixo de flutuação sazonal do nível potenciométrico. A exploração dessas reservas em condições normais não é recomendada, e a sua utilização, quando for o caso, deve estar associada ao monitoramento dos níveis de água (em poços) como medida de precaução e tomada de decisões. As RP são avaliadas com a aplicação da seguinte equação:

$$RP = AH\mu \quad (25)$$

onde:

A = área de ocorrência do aquífero em m²;

H = distância na vertical entre o nível d'água mínimo e a base do aquífero em m;

μ = porosidade efetiva (adimensional).

As RP foram avaliadas para os municípios da RMN, para cada um das zonas identificadas com diferente regime pluviométrico (**Tabela 12.13**). A carga hidráulica H equivale à espessura saturada do aquífero menos 2 m da variação sazonal do nível de água, a qual foi avaliada com espessura efetiva de 20 em média (subtraindo-se as camadas de argilas). O valor de porosidade efetiva utilizado foi de 10% (CAERN, 1998).

As reservas permanentes obtidas no âmbito dos municípios variaram de um mínimo de 232,0 milhões de m³, para o município de Parnamirim a um máximo de 1,0 bilhão de m³, no caso de Ceará-Mirim, seguido de 580,0 milhões de m³ em Nísia Floresta e São José do Mipibu. As RP numa avaliação global dos municípios atingem aproximadamente 4,2 bilhões de m³ na RMN.

Tabela 12.13. Reservas reguladoras e reservas permanentes do SAB nos municípios da RMN

Município	ÁREA		P	RR	RP
	Km ²				
Ceará-Mirim	Z.1	97	990	17,2	193
	Z.2	417	1.385	104,1	835
	TOTAL	514	-	121,3	1.028
Extremoz	Z.2	121	1.385	30,2	242
	TOTAL	121	-	30,2	242
São Gonçalo	Z.1	120	990	21,4	240
	Z.2	109	1.385	27,2	218
	TOTAL	229	-	48,6	458
Macaíba	Z.1	184	990	32,8	368
	Z.2	72	1.385	17,9	144
	TOTAL	256	-	50,7	512
Natal	Z.2	168	1.385	41,9	336
	TOTAL	168	-	41,9	336
Parnamirim	Z.2	116	1.385	28,9	232
	TOTAL	116	-	28,9	232
Monte Alegre	Z.1	126	990	22,5	252
	TOTAL	126	-	22,5	252
S. J. Mipibu	Z.1	144	990	25,7	289
	Z.2	146	1.385	36,3	291
	TOTAL	290	-	62,0	580
Nísia Floresta	Z.2	290	1.385	72,3	580
	TOTAL	290	-	72,3	580
RMN	TOTAL	2.110	-	478,4	4.220

P: precipitação; RR: reservas reguladoras; RP: reservas permanentes.

12.4 Disponibilidades de água subterrânea

As disponibilidades correspondem aos recursos de águas subterrâneas explorados ou o volume de água disponibilizado pela infra-estrutura hídrica instalada. No âmbito dos municípios, as mesmas foram obtidas com base no resultado do cadastro de poços realizado em campo, tomando como referência a vazão dos poços e regime de bombeamento, conforme detalhado no item 12.1.1 deste capítulo.

As disponibilidades foram computadas para as correspondentes zonas climáticas, sendo que a maior disponibilidade é a do município de Natal que atinge 84,8 milhões de m³/ano, seguido de Parnamirim, com 24 milhões de m³/ano. A exploração de água subterrânea é menor no município de Monte Alegre com 1,7 milhões de m³/ano (**Tabela 12.14**). No contexto de todos os municípios inseridos na RMN, as disponibilidades de águas subterrâneas atingem o montante de 166,8 milhões de m³/ano (**Tabela 12.14**).

As disponibilidades obtidas com base no cadastro de poços correspondem as retiradas (*withdrawals*) de água do aquífero que são demonstradas em cada município da RMN (**Tabela 12.14**), separadamente para cada zona climática, visando adequação à metodologia de cálculo da recarga que será empregada nesta avaliação.

Considerando as discussões que seguem para a determinação da recarga no SAB, bem como a finalidade de comparar a influência antrópica na quantidade das águas subterrâneas, a **Tabela 12.14** apresenta também os dados da recarga urbana (Ru). O detalhamento dos cálculos, as discussões e premissas que embasam as estimativas alcançadas no cálculo da recarga urbana estão apresentados em capítulo específico, no Volume 2 deste relatório Final.

A recarga urbana representa a indução ao aquífero de águas de diferentes procedências, influenciadas pelas infraestruturas de urbanização. Os dados da recarga urbana apresentados na **Tabela 12.14** representam as parcelas de infiltração das perdas das redes de abastecimento e dos esgotos provenientes, sobretudo, da destinação por fossas sépticas, mas também de eventuais vazamentos dos sistemas de coleta e tratamento do esgotamento sanitário.

O cálculo da diferença entre as retiradas e as recargas urbanas (WsRu) permite verificar que, do volume explorado, uma representativa parcela de 78% é suprida pelas águas aportadas das perdas da rede de abastecimento e pelos esgotos infiltrados nas fossas. Essa análise observa a representativa contribuição da recarga urbana no volume explorável do aquífero.

Tabela 12.14. Volume explorado e recarga urbana do SAB						
Município	Z.C.	Área (km ²)		W	Ru	WsRu
		Total	Urb.			
Ceará-Mirim	Z.1	97	4,5	2,9	7,4	-4,5
	Z.2	417	0,0	11,8	0,0	11,8
	TOTAL	514	4,5	14,7	7,4	7,3
Extremoz	Z.2	121	1,3	9,6	5,0	4,6
	TOTAL	121	1,3	9,6	5,0	4,6
São Gonçalo	Z.1	120	0,0	3,1	0,0	3,1
	Z.2	109	3,0	7,2	4,8	2,4
	TOTAL	229	3,0	10,3	4,8	5,5
Macaíba	Z.1	184	0,0	2,3	0,0	2,3
	Z.2	72	19,8	5,3	4,1	1,2
	TOTAL	256	19,8	7,6	4,1	3,5
Natal	Z.2	168	108,6	84,8	84,5	0,3
	TOTAL	168	108,6	84,8	84,5	0,3
Parnamirim	Z.2	116	30,0	24,0	17,5	6,5
	TOTAL	116	30,0	24,0	17,5	6,5
Monte Alegre	Z.1	126	1,2	1,7	1,2	0,5
	TOTAL	126	1,2	1,7	1,2	0,5
S. J. Mipibu	Z.1	144	1,9	1,3	3,2	-1,9
	Z.2	146	0,0	4,4	0,0	4,4
	TOTAL	290	1,9	5,7	3,2	2,5
Nísia Floresta	Z.2	290	1,3	8,4	3,1	5,3
	TOTAL	290	1,3	8,4	3,1	5,3
RMN	TOTAL	2.110	171,6	166,8	130,8	36,0

Z.C.: zonas climáticas definidas neste estudo para efeito dos cálculos da recarga; Urb. área urbana relativa à sede municipal; W: volume de água subterrânea explorada do SAB (retiradas); Ru: recarga urbana; WsRu: retirada subtraído volume da recarga urbana.

Deve-se ressaltar, entretanto, que os volumes de esgotos sanitários infiltrados configuram uma contribuição de água contaminada no aquífero, sendo responsável pela degradação da qualidade das águas do SAB em diversos aglomerados urbanos da RMN, mas com destaque para os municípios de Natal e Parnamirim. Os debates sobre a importância qualitativa e quantitativa da recarga urbana serão apresentados nos capítulos específicos da recarga urbana e do balanço hidrogeológico.

12.5 Recarga das águas subterrâneas

A recarga de águas subterrâneas constitui um parâmetro de fundamental importância no conhecimento e manejo adequado dos aquíferos (HEALY; COOK, 2002). Não se pode explorar e garantir o uso sustentável de um aquífero ou reserva de água subterrânea sem o conhecimento dos mecanismos e montante da recarga anual a que o mesmo é submetido. A exploração de um volume maior do que sua própria recarga pode induzir a rebaixamentos indesejáveis e afetar as captações d'água e o próprio aquífero. A própria recarga nem sempre pode ser explorada integralmente, devendo, por conseguinte, serem observados os aspectos ambientais envolvidos.

Em sistemas aquíferos livres, como é o caso do aquífero Barreiras, suas potencialidades estão condicionadas principalmente as infiltrações diretas das águas de chuva, cujo volume efetivamente infiltrado restitui as reservas de águas subterrâneas que se perdem nos escoamentos naturais e exploração por poços e, também, alimentam o fluxo subterrâneo. Por definição, em condições de equilíbrio, sem considerar a exploração por poços, a infiltração eficaz é equivalente a vazão do fluxo subterrâneo natural e as reservas reguladoras.

Várias técnicas são indicadas para quantificar a recarga, entretanto a escolha das mais apropriadas é frequentemente difícil. Técnicas baseadas em dados de águas superficiais e da zona insaturada geralmente fornecem estimativas da recarga potencial, enquanto que aquelas baseadas em dados de águas subterrâneas fornecem estimativas da recarga real (SCANLON *et al.* 2002).

Convém ressaltar, entretanto, que o método hidrológico com medições em uma única seção do rio fornece informações de toda a bacia hidrográfica correspondente, enquanto que técnicas hidrogeológicas requerem um número apreciável de pontos distribuídos regularmente na área de estudo para que as informações sejam confiáveis. A aplicação da lei de Darcy, no caso de fluxos no meio saturado, é particularmente vantajosa quando o aquífero é alimentado por várias fontes (KRUSEMAN, 1997). As dificuldades ou imprecisões na aplicação deste método são apontadas pela susceptibilidade de ocorrência de fluxos verticais. No caso de fluxos de um ano ou mais o método vai fornecer uma boa estimativa da recarga (LERNER *et al.* 1990). As dúvidas associadas a cada método corroboram a necessidade de aplicar várias técnicas distintas para aumentar a confiabilidade nas estimativas da recarga.

Ressalta-se que a recarga foi estimada com a aplicação de diferentes metodologias para que se pudesse comparar e adequar resultados e, por conseguinte, adotar uma das estimativas para efetuar o balanço hidrogeológico.

12.5.1 Método climatológico

Uma primeira estimativa da recarga foi efetuada no Capítulo 4 deste relatório através da aplicação do balanço hidroclimatológico associado ao conhecimento dos tipos de solos e declividade dos terrenos, que permitiu a estimativa de diferentes taxas de recarga em diferentes compartimentos hidrogeológicos. Os resultados obtidos indicam menores taxas de recarga nos vales e maiores no domínio dos tabuleiros do “Barreiras” e dos depósitos de dunas que totalizam um volume de 367 milhões de m³/ano, equivalente a uma taxa média de recarga de 14%.

12.5.2 Aplicação da lei de Darcy no meio poroso saturado

Conforme apresentado anteriormente a vazão natural anual do fluxo subterrâneo em condições de equilíbrio corresponde à recarga anual das águas subterrâneas. Entretanto, como há uma infra-estrutura hídrica instalada na área de estudo, é necessário acrescentar a vazão natural o volume das retiradas por essa infra-estrutura.

A aplicação deste método na estimativa de recarga das águas subterrâneas na RMN resultou em uma vazão total do fluxo subterrâneo de 8,15 m³/s (Capítulo 11 - Mapa Potenciométrico), o que corresponde a aproximadamente 257,0 milhões de m³/ano. A exploração das águas subterrâneas na RMN, subtraindo-se a parcela correspondente a recarga urbana é de 36,2 milhões de m³/ano, que somado a vazão de fluxo subterrâneo natural anual obtém-se a recarga de 293,2 milhões de m³/ano, que corresponde a uma taxa de infiltração de aproximadamente 12%.

A aplicação deste método na estimativa de recarga das águas subterrâneas no âmbito da faixa costeira leste do estado do Rio Grande do Norte ocorreu em alguns estudos, destacados a seguir.

Aplicação da Lei de Darcy no meio poroso saturado na Bacia do Rio Pirangi (LUCENA; SANTOS, 2001)

Utilizando os mapas potenciométricos elaborados por Lucena *et al* (2006) para a bacia do rio Pirangi foi feita uma estimativa da recarga das águas subterrâneas nesta bacia. A vazão de fluxo obtida foi de uma ordem de 3,47 m³/s, o que equivale 104x10⁶ m³/a ou uma taxa de recarga de 17,8% em média no domínio da bacia, desprezando evidentemente o volume de água já explorado, apesar de que parte do volume de água bombeado volta ao aquífero durante o processo de irrigação de culturas. Também, não está sendo considerada a recarga adicional que ocorre nos domínios urbanos.

Aplicação da Lei de Darcy no meio poroso saturado na Bacia do Rio Maxaranguape (SEMARH, 2010)

Com base no mapa potenciométrico do Sistema Aquífero Barreiras elaborado para a bacia do rio Maxaranguape foi avaliada a vazão total do fluxo subterrâneo natural e em seguida estimada a recarga das águas subterrâneas. A vazão de fluxo subterrâneo obtida foi de $2,55 \text{ m}^3/\text{s}$, que referido ao ano hidrológico corresponde a $80 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Tal como prevê a aplicação do método, estando o aquífero sob bombeamento, na avaliação da recarga das águas subterrâneas foi necessário compensar o volume de água anual explorado, ou seja, a recarga efetiva corresponde ao somatório da vazão de fluxo subterrâneo anual mais o volume bombeado anualmente do aquífero que foi estimado em $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, resultando em $88 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Ressaltou-se que nos domínios sob irrigação parte do volume de água bombeado volta ao aquífero através dos excedentes de irrigação, que não foram avaliados no referido trabalho. Em uma primeira aproximação a recarga das águas subterrâneas pela aplicação do método da Lei de Darcy foi tomada como equivalente ao valor obtido de $88 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, que corresponde a uma taxa de infiltração da ordem de 17,6%.

Aplicação da Lei de Darcy ao meio poroso saturado na Bacia do Rio Doce até a lagoa de Extremoz (SERHID, 2004)

Cobrindo uma superfície de 200 km^2 de ocorrência do aquífero Barreiras, a vazão do fluxo subterrâneo na área de estudo foi avaliada em $0,248 \text{ m}^3/\text{s}$ o que equivale a aproximadamente $7,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Os recursos explorados anualmente do aquífero Barreiras foram avaliados em $6,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, assim sendo o volume de água efetivamente infiltrado anualmente no terreno foi estimado em $14,2 \times 10^6$ milhões de m^3 , o que equivale a $69 \text{ mm}/\text{ano}$ e taxa de recarga de 21%.

Aplicação da Lei de Darcy ao meio poroso saturado na Zona Norte da cidade de Natal considerando a recarga urbana (MELO *et al.* 2011)

Na estimativa da recarga da Zona Norte de Natal com base na vazão do fluxo subterrâneo (lei de Darcy), além do volume de água explorado, foi necessário considerar a recarga urbana propiciada pela disposição local e infiltração de efluentes domésticos e pelos vazamentos nas tubulações da rede de suprimento.

A equação utilizada, fundamentada no princípio de conservação das massas, foi a seguinte:

$$R_n = (Q + V_{exp}) - (q_e + q_p)$$

Onde:

R_n , é a recarga natural;

Q , é a vazão do fluxo subterrâneo;

V_{exp} , é o volume anual de água explorado;

q_e , é descarga dos esgotos;

q_p são as perdas de água na rede

A recarga urbana (RU) no caso corresponde ao somatório de $q_e + q_p$.

A recarga natural do fluxo subterrâneo foi avaliada utilizando o mapa potenciométrico em $1,87 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $58,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$; o volume de água explorado do aquífero Barreiras, com base em cadastramento de poços, em $17,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e a recarga urbana em $51,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ considerando as perdas na rede e os efluentes efetivamente infiltrados. Com base nesses resultados a recarga natural foi estimada em $25,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou 318 mm/ano , que corresponde a uma taxa de infiltração de 20% do total precipitado de 1.600 mm/ano .

Aplicação da Lei de Darcy ao meio poroso saturado no município de Natal

A recarga da cidade de Natal foi avaliada a partir da vazão do fluxo subterrâneo natural sem considerar a recarga urbana (MELO; QUEIROZ, 2001). O valor obtido foi bastante elevado, da ordem de $116 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou equivalente a uma taxa de 40%. O volume de água bombeado de poços na oportunidade foi avaliada em $68,8 \times 10^6$ e também informa-se que toda água retirada é substituída durante o ano, o que atesta a expressiva recarga urbana, e de certa forma justifica a elevada taxa de recarga. A população da zona sul de Natal em 2001 foi referida a 700.000 habitantes.

12.5.3 Método da variação de carga

Trata-se da aplicação do “*Water - Table Fluctuation Method*”, mediante o conhecimento da variação de carga no aquífero no curso de um período considerado.

Utilizando-se os dados obtidos nas duas campanhas de medição de nível executada no âmbito deste projeto, chegou-se a uma variação de carga em média de $1,13 \text{ m}$. Apesar da boa distribuição espacial dos poços que compõem a rede de monitoramento, os períodos em que ocorreram as medições não refletem as cargas máximas e mínimas do aquífero e, portanto, devem ser utilizados com ressalvas. Aplicando-se essa variação de carga para a área total de ocorrência do SAB na RMN, e adotando-se uma porosidade efetiva de 10% (indicada por CAERN, 1998) obtém-se uma recarga de 238 milhões de m^3/ano , que somada as

retiradas (36,2 milhões de m³/ano) resultam em 274,2 milhões de m³/ano, o que equivale a uma taxa de infiltração de 12%.

Outra estimativa por essa técnica pode ser realizada aplicando-se a variação de carga média de 2 m obtida nos estudos realizados na bacia do rio Pirangi (LUCENA *et al.* 2004), admitindo-se que existe uma similaridade nas características hidrogeológicas das bacias inseridas na RMN, e porosidade efetiva de 10% (CAERN, 1998). O resultado obtido é de uma recarga da ordem de 422x10⁶ m³/ano, que somada a retirada resulta em 458,2x10⁶ m³/ano, o que equivale a uma taxa de infiltração de 18%.

Nos estudos conduzidos pelo IPT (1982) foi estimada uma variação de carga média de 1,6 m do SAB no âmbito da bacia costeira leste, o qual indica uma recarga da ordem de 338 milhões de m³/ano na RMN, com um total de 374,2 milhões de m³/ano quando somada as retiradas, com uma taxa de infiltração de 15%.

12.5.4 Método de traçadores (Trítio)

Trata-se de um método pontual utilizando o trítio como traçador (IPT, 1982). Foram obtidos valores bastante diferentes em cada um dos pontos investigados e utilizado em seguida um valor médio de infiltração, que levou a indicação de uma taxa média de infiltração de 16% para a região de Natal.

12.5.5 Método de hidrologia de superfície

O método de hidrologia de superfície foi aplicado para estimativa da reserva reguladora, adotando-se o percentual de 18% para a taxa de infiltração, a partir das precipitações médias das zonas climáticas, definidas em função das diferenças pluviométricas existentes entre os setores leste e oeste da RMN. Por conseguinte, a reserva reguladora foi aplicada na definição da recarga na RMN. A definição do percentual de 18% foi discutida na determinação das reservas reguladoras do SAB (item 12.3.1 deste Volume 1), sendo adotado com base nas similaridades das bacias hidrográficas da RMN em termos geológicos, estruturais e hidrogeológicos.

Como já apresentado anteriormente, a avaliação da recarga das águas subterrâneas com base nas reservas reguladoras requer situações de equilíbrio hidrodinâmico. Os cálculos da reserva reguladora, efetuados a partir de estudos hidrológicos, como neste caso, representam toda a dinâmica de fluxos (aportes e retiradas) presente no sistema hidráulico.

Considerando o caráter preliminar da quantificação do SAB na RMN, bem como a escala regional destes estudos, pode-se resumir, de maneira simplificada, o equilíbrio hidrodinâmico do SAB a partir do conceito de que a reserva reguladora representa a somatória das recargas, subtraídas as retiradas existentes nesse sistema hidrogeológico, ou seja:

$$RR = R + Ru - W, \text{ ou seja } R = RR + W - Ru \quad (27)$$

onde:

RR é a reserva reguladora; R é a recarga; Ru é a recarga urbana; W é a retirada (ou volume explorado do SAB); e “W – Ru” é denominado neste trabalho como WsRu.

Desse modo, a recarga do SAB foi calculada em $514,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, conforme demonstrado na **Tabela 12.15** que apresenta a determinação da recarga por município da RMN, bem como a eficiência dessa contribuição ao aquífero, em relação à precipitação média da RMN.

Tabela 12.15. Recarga do Sistema Aquífero Barreiras na RMN					
Município	Área	RR	WsRu	R	
	Km ²	10 ⁶ m ³ /a		%	
Ceará-Mirim	514	121,3	7,3	128,6	19,1%
Extremoz	121	30,2	4,6	34,8	20,8%
S. Gonçalo do Amarante	229	48,6	5,5	54,1	20,0%
Macaíba	256	50,7	3,5	54,2	19,2%
Natal	168	41,9	0,3	42,2	18,2%
Parnamirim	116	28,9	6,5	35,4	22,2%
Monte Alegre	126	22,5	0,5	23,0	18,4%
S. J. Mipibu	290	62,0	2,5	64,5	18,7%
Nísia Floresta	290	72,3	5,3	77,6	19,2%
RMN	2.110	478,4	36,0	514,4	19,3%

RR: reserva reguladora; WsRu: retirada subtraída a recarga urbana; R: recarga

12.5.6 Abordagem sobre as técnicas utilizadas na avaliação da recarga e discussão dos resultados

A utilização das diferentes técnicas aplicadas para cálculo da recarga do SAB na RMN permitiu uma comparação entre os resultados alcançados, de forma a chegar em uma estimativa mais consistente. As principais restrições associadas às diversas metodologia apresentadas ocorrem principalmente pela falta de dados consistentes para sua determinação. Neste item são discutidos os resultados

alcançados a partir dos métodos do balanço climatológico, da lei de Darcy, da variação de carga e de hidrologia de superfície, já apresentados.

O método climatológico fornece uma indicação potencial da recarga, que corresponde ao excedente de água do balanço hídrico, o qual inclui água subterrânea e água superficial. No caso em apreço, a parcela correspondente ao escoamento superficial foi estimada, de modo que a informação apresentada sobre recarga representa efetivamente o volume da água infiltrado no curso de um ano hidrológico (Capítulo 4 – Estudos climatológicos e avaliação hidrológica). O método, entretanto, não considera os aspectos hidrogeológicos, sendo baseado fundamentalmente em resultados de um balanço hidro-climatológico na faixa mais superior do perfil do solo. O método é exploratório e fornece uma ordem de grandeza da recarga, servindo de base para comparação de resultados obtidos por outros métodos. O resultado alcançado através dessa metodologia indica uma recarga na ordem de 367 milhões de m³/ano, o que corresponde a aproximadamente 14% da precipitação média anual.

A estimativa da recarga baseada na lei de Darcy em geral fornece resultados duvidosos e reconhecidamente mais baixos que os reais, dado fundamentalmente a grande variação espacial na transmissividade do aquífero. As estimativas de recarga no âmbito dos municípios não foram consideradas, haja vista a falta de dados para uma caracterização satisfatória das frentes de escoamento. De fato, os melhores resultados são obtidos em áreas de dimensões regionais, compatíveis com as dimensões da RMN. A recarga obtida através dessa técnica foi de 293 milhões de m³/ano, o que indica uma taxa de infiltração de 12%. Estudos conduzidos em algumas das bacias hidrográficas inseridas na área de estudo indicam uma infiltração média de 18%, ou seja, cerca de 60% superior a taxa alcançada nesse estudo.

O método da variação de carga em geral fornece melhores resultados, apesar de que também apresenta suas limitações. É necessário conhecer a porosidade específica do aquífero, que é um componente de difícil avaliação, e, também, a flutuação sazonal do nível d'água, que requer investimentos consideráveis. No caso em apreço foram obtidos três valores de recarga, com base nas variações de carga obtidas nesse projeto, apresentado por Lucena e Santos (2001) e pelo IPT (1982). Os resultados indicam taxas de infiltração variando entre 12% e 18%.

Os dados para cálculo da recarga através da metodologia de hidrologia de superfície foram os que se demonstraram mais confiáveis para aplicação, haja vista a consistência dos dados disponíveis em relação as outras técnicas, e devido a similaridades das bacias hidrográficas da RMN em termos geológicos, estruturais e hidrogeológicos. Obteve-se uma recarga de 514 milhões de m³/ano,

já consideradas as retiradas, a qual foi adotada como valor da recarga na RMN nesse projeto.

A **Tabela 12.16** ilustra os valores de recarga obtidos pelos diferentes métodos aplicados.

Tabela 12.16. Síntese dos valores obtidos para recarga com diferentes técnicas		
Método	Recarga	
	x 10⁶ m³/ano	%⁽⁴⁾
Climatológico	367	14
Lei de Darcy	293	12
Variação de carga	274 ⁽¹⁾	12
	458 ⁽²⁾	18
	374 ⁽³⁾	15
Hidrologia de superfície	514	19

1- resultado obtido com variação de carga igual a 1,13 obtido neste estudo;

2- resultado obtido com variação de carga igual a 2,00 (LUCENA *et al.* 2001);

3- resultado obtido com variação de carga igual a 1,60 (IPT, 1982);

4- percentuais representativos da eficiência da infiltração em relação à precipitação média da área.

12.5.7 Potencialidades e recursos exploráveis

Potencialidade é a descarga anual de água que pode ser extraída de um determinado aquífero sem que se produza um efeito indesejável, enquanto que os recursos exploráveis correspondem à diferença entre potencialidade e disponibilidade. Assim sendo, em condições de equilíbrio sem exploração ou retiradas de água por bombeamento, os recursos exploráveis correspondem às potencialidades.

Na RMN as potencialidades do SAB correspondem em uma primeira aproximação à recarga estimada, da ordem de $514,4 \times 10^6$ m³/ano (**Tabela 12.17**), e os recursos exploráveis foram obtidos através das potencialidades subtraída das retiradas (**Tabela 12.17**).

Os municípios com recursos exploráveis mais elevados são Ceará-Mirim, com $121,3 \times 10^6$ m³/ano, Nísia Floresta com $72,3 \times 10^6$ m³/ano e São José de Mipibú com 62×10^6 m³/ano, enquanto que Monte Alegre, com $22,5 \times 10^6$ m³/ano e Parnamirim, com $20,5 \times 10^6$ m³/ano, possuem os menores recursos exploráveis na RMN.

Tabela 12.17. Potencialidades e recursos explotáveis do SAB na RMN						
Município	Área	R	Pot	WsRU	R_{exp}	Uso
	Km²	10⁶ m³/a				%
Ceará-Mirim	514	128,6	128,6	7,3	121,3	6%
Extremoz	121	34,8	34,8	4,6	30,2	13%
São Gonçalo	229	54,1	54,1	5,5	48,6	10%
Macaíba	256	54,2	54,2	3,5	50,7	6%
Natal	168	42,2	42,2	0,3	0,0	100%
Parnamirim	116	35,4	35,4	6,5	20,5	42%
Monte Alegre	126	23,0	23,0	0,5	22,5	2%
S. J. Mipibu	290	64,5	64,5	2,5	62,0	4%
Nísia Floresta	290	77,6	77,6	5,3	72,3	7%
RMN	2.110	514,4	514,4	36,0	428,1	17%

R: recarga; Pot: potencialidade; WsRU: retirada subtraída a recarga urbana; R_{exp}: recurso explotável.
(1) - subtraídos os volumes de águas potencialmente contaminadas;

Em Natal, apesar de a potencialidade ser da ordem de $42,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, não foi considerada como recursos explotáveis, pois praticamente todo o município é urbanizado e em grande parte do seu domínio as águas subterrâneas estão contaminadas por nitrato (conforme discutido nos capítulos 9 e 10 do Volume 2), que é atribuído ao sistema de disposição local de efluentes adotado, existindo em termos potenciais, riscos de contaminação em todo o município. Parnamirim também teve os recursos explotáveis reduzidos devido à recarga urbana que se processa na sua sede municipal, configurando cenários de contaminação em algumas regiões, conforme discutido neste estudo (Capítulos 9 e 10 – Volume 2). Com efeito, a potencialidade é de $35,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e o recurso explotável de $20,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, onde a diferença reflete as retiradas do aquífero ($WsRU = 6,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$) e a contaminação estimada no domínio urbano ($8,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$).

Dessa maneira, os recursos explotáveis foram avaliados em aproximadamente $428,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, o que representa 83% das potencialidades do SAB na RMN. Os municípios que menos explotam águas subterrâneas do SAB são Monte Alegre e São José do Mipibu, que utilizam respectivamente 2% e 4% dos recursos disponíveis (**Tabela 12.17**).

Ressalva-se que os resultados apresentados consideram como potencialidade a totalidade da recarga, sem entrar no conceito de vazão segura (*safe yield*). Para diversos autores, as potencialidades não podem ser explotadas em sua totalidade, pois uma parcela desse volume é responsável pela manutenção do equilíbrio dos ecossistemas inseridos na área e como a estimativa das

potencialidades incorre em imprecisões, deve-se retirar apenas uma parcela do volume estimado. A parcela que deve ser mantida ainda é alvo de intensas discussões, devendo-se levar em consideração, além das questões técnicas, os aspectos sócio-econômicos e culturais da área em apreço.

Considerando a forte influência do SAB na manutenção dos ecossistemas costeiros na RMN, assim como a forte dependência da água subterrânea para o desenvolvimento sócio-econômico dessa área, recomenda-se um estudo específico para se determinar qual volume dos recursos exploráveis é seguro de ser explorado.

13 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

O modelo hidrogeológico conceitual constitui uma representação, numa visão que pode ser bidimensional ou tridimensional, de acordo com os objetivos do trabalho, da geometria e das condições hidrogeológicas de uma determinada área. É, portanto, uma simplificação de um sistema aquífero real no qual procura-se reproduzir da forma mais realista possível as condições de campo. Podem ser imprecisos ou conter simplificações, no entanto, apresentam subsídios para o conhecimento dos aquíferos e para sua gestão (ROSEN; LEGRAN, 2000), constituindo a base para elaboração de modelos matemáticos e computacionais.

Por outro lado, nem sempre os modelos hidrogeológicos conceituais são elaborados com este objetivo. Eles, também podem constituir, por exemplo, ferramentas valiosas na compreensão dos mecanismos de contaminação e salinização das águas subterrâneas. O modelo hidrogeológico conceitual elaborado para a RMN (**Figura 13.1**) fornece uma visão tridimensional do sistema aquífero Barreiras com uma representação de forma simplificada e didática do comportamento hidrogeológico.

O modelo hidrogeológico conceitual da RMN foi elaborado tendo em vista a representação em diagrama do comportamento do Sistema Aquífero Barreiras nos seus aspectos dimensionais, estruturais e hidrodinâmicos e de funcionamento hidráulico do sistema de modo a constituir uma ferramenta de manejo e uso sustentável das águas subterrâneas. O modelo deverá, também, constituir ferramenta importante no diagnóstico dos mecanismos de contaminação das águas subterrâneas atribuídas as atividades urbanas, industriais e de desenvolvimento agrícola.

O modelo foi elaborado a partir do conhecimento hidrogeológico adquirido sobre o sistema aquífero Barreiras até o momento, integrando informações de campo e de laboratório, de modo a se ter uma visão mais real possível do funcionamento hidráulico do mesmo. O aspecto fundamental a ser considerado foi a elaboração de um modelo capaz de representar os diferentes comportamentos hidrogeológicos observados em diferentes setores de ocorrência, atribuídos a fatores geológicos, geomorfológicos, estruturais e climáticos. Neste sentido, foi utilizado o seguinte procedimento:

- a) Ampla pesquisa bibliográfica abordando os aspectos relativos a hidrogeologia da RMN;
- b) Utilização de estudos hidrogeológicos desenvolvidos no âmbito da área e até o momento não publicados;

- c) Utilização do cadastro de poços do Sistema Aquífero Barreiras, realizado em campo, destacando o uso das águas e profundidade do nível das águas subterrâneas;
- d) Utilização, prioritariamente, de dados de poços totalmente penetrantes no Sistema Aquífero Barreiras, visando a obtenção de parâmetros os mais representativos possível;
- e) Conhecimento das condições de pressão relativas ao SAB no diagnóstico sobre a ocorrência de um sistema aquífero livre ou semiconfinado; o sistema foi considerado livre no caso da espessura da camada confinante ter sido tomada como nula, ou seja, ausente.

O modelo contém as unidades do sistema hidrogeológico (aquíferos e aquitardes), com indicação de suas dimensões relativas, litologia, parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos, recarga (natural e urbana), retiradas de água (bombeamentos) e drenança através da camada semiconfinante.

Em linhas gerais o Modelo Conceitual do Sistema Aquífero Barreiras pode ser descrito como a seguir.

Trata-se de um sistema aquífero livre com a ocorrência de semi-confinamentos localizados. Portanto, o sistema aquífero apresenta essas duas possibilidades, condicionadas ao caráter litológico e estrutural dos estratos sedimentares. O aquífero Barreiras propriamente dito corresponde a parte inferior dos sedimentos do Grupo Barreiras. O mesmo é constituído de arenito médio a grosseiro, com condutividade hidráulica da ordem de $2,0 \times 10^{-4}$ m/s.

No caso de aquífero semi-confinado, o aquífero Barreiras é limitado no topo por camada semi-permeável caracterizada com aquitarde, formada por argilitos arenosos com condutividade hidráulica da ordem de $2,0 \times 10^{-8}$ m/s, que permite o fenômeno de drenança vertical descendente, notadamente durante o bombeamento de poços.

No caso do aquífero livre, o aquífero Barreiras está limitado no seu topo por estratos sedimentares relativamente permeáveis, representados por areias e arenitos, porém de condutividade hidráulica distintamente inferior a do aquífero Barreiras, da ordem de $2,0 \times 10^{-6}$ m/s, que rigorosamente falando pode se enquadrar na condição de “semi-livre”. Neste caso, o fenômeno de drenagem deferida ou retardada já é esperado.

O aquífero Barreiras é limitado na sua base por rochas carbonáticas com características de aquitarde.

As características avaliadas nos dados existentes mostram que os argilitos arenosos de baixa condutividade hidráulica (camada semi-confinante) ocasionalmente mudam de fácies para arenito e arenito argiloso com condutividade hidráulica distintamente superior, o que pode inclusive ser atribuído a falhamento (**Figura 13.1**). Na condição apresentada, o sistema aquífero Barreiras atinge em termos regionais a condição de um sistema livre a semiconfinado, que é alimentado diretamente pelas águas de precipitação pluviométrica. Convém assinalar, que na parte mais superficial acima do aquífero, ocorre uma camada formada de areias pouco argilosas, em sua maior parte insaturada, representadas por sedimentos recentes que pode ser de dunas, alúvios e elúvios ou até mesmo sedimentos da parte superior do Barreiras.

Sobre a superfície da RMN precipita-se uma lâmina de água média de 1100 mm/ano. Do total precipitado infiltra-se 256 mm/ano como recarga natural e 51 mm/ano como recarga urbana. As retiradas de água por bombeamento são da ordem de 81 mm/ano.

As unidades que constituem o modelo hidrogeológico conceitual foram definidas conforme descrito a seguir:

- O sistema aquífero Barreiras e suas dimensões foram definidos e avaliados a partir das informações geológicas de superfície e correlação de perfis de poços;
- Os tipos de aquífero e aquíferos foram definidos pela disposição relativa dos estratos sedimentares, pela litologia e posição relativa das cargas hidráulicas;
- Para cada poço testado foram avaliados os parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos conforme apresentado nas **Tabelas 12.3 a 12.11** do Capítulo anterior deste relatório, referente aos respectivos municípios. Esses parâmetros compreenderam: transmissividade (T); condutividade hidráulica (k); espessura saturada do aquífero (h_0), no caso de aquífero livre; espessura do aquífero (b) no caso de aquífero semiconfinado; espessura da camada semiconfinante (b'); condutividade hidráulica da camada semiconfinante (k') e coeficiente de armazenamento (S) e ou porosidade efetiva (μ);
- Os parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos foram avaliados com base em resultados de ensaios de bombeamento bem como nos perfis litológicos e construtivos de poços e piezômetros utilizado nos testes de aquífero. Devido a grande variação nos valores dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos, principalmente transmissividade e condutividade hidráulica, do sistema aquífero Barreiras, são apresentados faixas de variação desses parâmetros em vez de um valor médio. Isso ocorreu, haja vista os diferentes valores de T nos

diferentes compartimentos do sistema aquífero Barreiras, condicionado a estrutura geológica e litologia dos sedimentos. Esses ensaios incluem, na maioria dos casos, simples resultados de testes de bombeamento de produção de poço; uma menor quantidade de testes de aquífero propriamente dito, que compreende dispositivo de poço de bombeamento e poço de observação (piezômetro). Em alguns casos se dispunha dos valores de vazão específica do poço e não se dispunha dos resultados dos testes de bombeamento, procedeu-se então a estimativa da transmissividade do aquífero a partir dos correspondentes valores de vazão específica, por metodologia considerada mais adequada no âmbito do desenvolver do trabalho, conforme apresentado anteriormente.

- A recarga das águas subterrâneas foi resultado de estudos específicos com aplicação de diferentes metodologias de investigação que incluiu técnicas climatológicas, hidrológicas, aplicação da lei de Darcy, variação de cargas potenciométricas, traçadores isotópicos (trítio). Foram adotados os resultados obtidos nas avaliações de recarga pelo método hidrológico conforme apresentado e discutido no âmbito deste trabalho. A recarga efetiva foi obtida por balanço hidrogeológico mediante o conhecimento da recarga urbana e das retiradas de água do aquífero (bombeamentos).
- A recarga urbana representa a recarga propiciada pela infiltração de efluentes urbanos e os vazamentos na rede de distribuição de água, os quais foram devidamente avaliados.
- As retiradas de água corresponde ao recurso explotado, o qual foi estimado com base no cadastro de poços realizado e demandas de água avaliadas para cada município.
- No caso do aquífero se comportar como semiconfinado é indicado o fenômeno de drenança vertical descendente, apesar de que na maioria dos casos a diferença de carga hidráulica é muito pequena. A drenança, na realidade, ocorre durante o bombeamento dos poços.

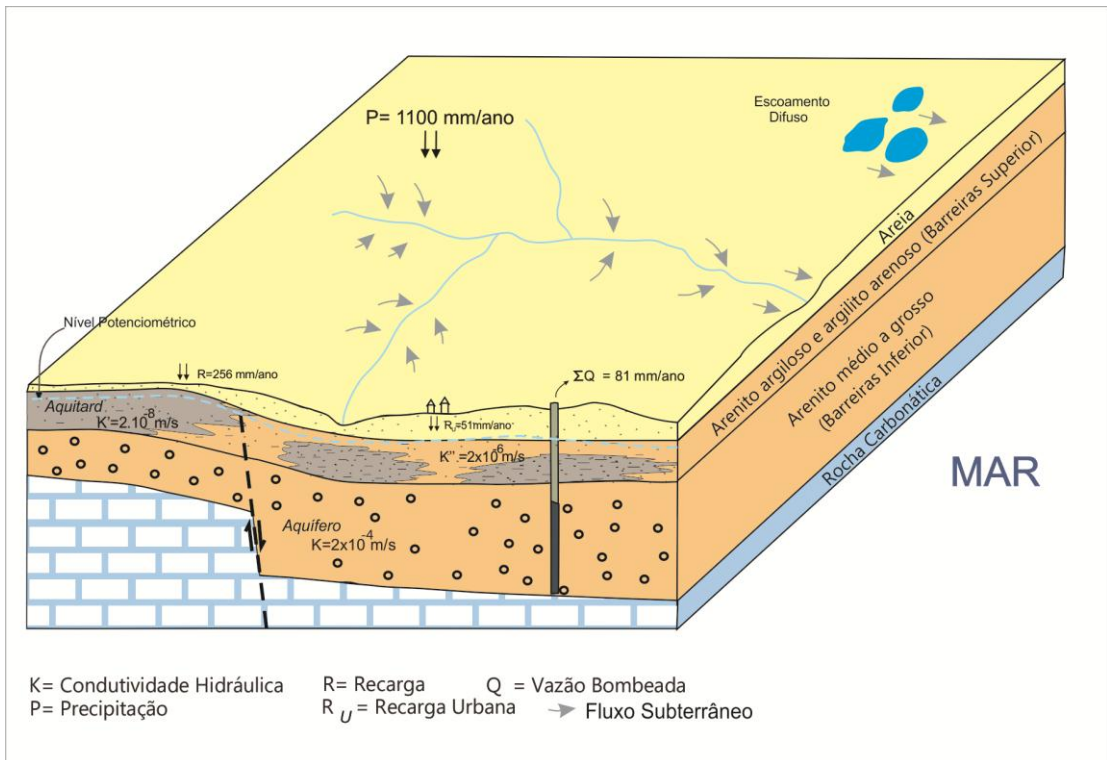


Figura 13.1. Modelo conceitual do Sistema Aquífero Barreiras

14 MAPA HIDROGEOLÓGICO

Os mapas hidrogeológicos constituem ferramentas úteis para representar espacialmente as diversas características geológicas e hidrogeológicas de uma determinada área ou aquífero. A quantidade de dados a representar varia com os objetivos do mapa, com a escala a ser utilizada e o estado de conhecimentos sobre a região estudada. As escalas detalhadas requerem uma densidade maior de pontos quanto ao conhecimento do aquífero, não sendo recomendadas extrapolações exageradas que possa por em dúvida a qualidade do mapa. A escala de 1:100.000, a ser adotada nos estudos da RMN, se enquadra no tipo de estudos gerais, podendo o referido mapa ser utilizado como ferramenta de planificação e gestão.

Os componentes de um mapa hidrogeológicos são definidos de acordo com os objetivos do trabalho e disponibilização de dados a representar, porém, em linhas gerais deverão incluir:

- Dados climáticos, no qual se destaca a distribuição das precipitações pluviométricas sob a forma de isoietas;
- Dados geológicos, que se refere as unidades geológicas que constituem aquíferos, incluindo área de ocorrência, espessuras e litologia, além de aspectos estruturais relevantes;
- Dados de hidrologia superficial, principalmente toda a configuração da rede drenagem com localização de barragens, estações de medição de descargas de rios, riachos e fontes;
- Dados de hidrologia subterrânea, que compreende a distribuição espacial dos poços de captação de água, a representação dos parâmetros hidrodinâmicos, notadamente transmissividade, condutividade hidráulica e espessura saturada, características do fluxo subterrâneo e representação de zonas segundo suas potencialidades;
- Dados hidroquímicos, notadamente representação dos sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e dureza das águas subterrâneas, além de cátions e ânions específicos.

Em atendimento aos Termos de Referência apresentado pela Agência Nacional das Águas (ANA) e Proposta Técnica apresentados pela Empresa SERVIMAR foi elaborado o Mapa Hidrogeológico da RMN (**Figura 14.1**).

O mapa hidrogeológico apresentado é uma representação visual das condições da água subterrânea da RMN (**Figura 14.1**) e o mesmo poderá ser utilizado em atividades de planejamento e gestão de águas subterrâneas. O referido mapa serve de ponto de partida para o desenvolvimento de estudos mais detalhados, podendo ser então facilmente atualizado assim que novas informações e conhecimentos tornam-se disponíveis.

O mapa hidrogeológico da RMN é uma integração das informações obtidas e dos mapas hidrogeológicos específicos elaborados. Nesse contexto, são reunidas informações sobre as unidades geológicas que constituem aquíferos, com suas características lito-estruturais, parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos, potencialidades e infra estrutura hídrica instalada.

As unidades aquíferas da RMN, em conformidade com o mapa hidrogeológico, são as seguintes:

- Sistema aquífero Barreiras, que abrange a maior parte da RMN com águas de excelente qualidade em suas condições naturais e potencialidade em geral média a elevada. Engloba as coberturas recentes formadas pelas dunas, aluviões, elúvios e colúvios, e, os sedimentos terció-quaternários do Grupo Barreiras. As dunas, os alúvios e colúvios em geral estão insaturados, servindo como condutores da água de infiltração em direção aos estratos inferiores do Barreiras;
- O aquífero das rochas carbonáticas, de natureza cárstica e fissural, de baixa potencialidade, águas com elevada salinidade e com ocorrência expressiva em sub-superfície;
- O aquífero Açú, constituído de arenitos silicificados com intercalação de argilitos e folhelhos, que pode ocorrer sob a forma livre e confinada, com baixa potencialidade, salinidade elevada e ocorrência restrita;
- O aquífero cristalino de natureza fissural formado por granitos, xistos e gnaisses, com ocorrência restrita e com águas de elevada salinidade.

O mapa hidrogeológico elaborado apresenta uma visão espacial da infra-estrutura hídrica instalada na RMN, incluído poços públicos e poços privados (**Figura 14.1**), explicitando a importância das águas subterrâneas no contexto sócio-econômico e na qualidade de vida da população. No total são 3.129 poços com profundidades que variam de menos de 20 m a pouco mais de 100 m. Denota-se uma maior concentração de poços no Município de Natal que inclui poços públicos e particulares. Outro aspecto a ser destacado é a maior concentração de

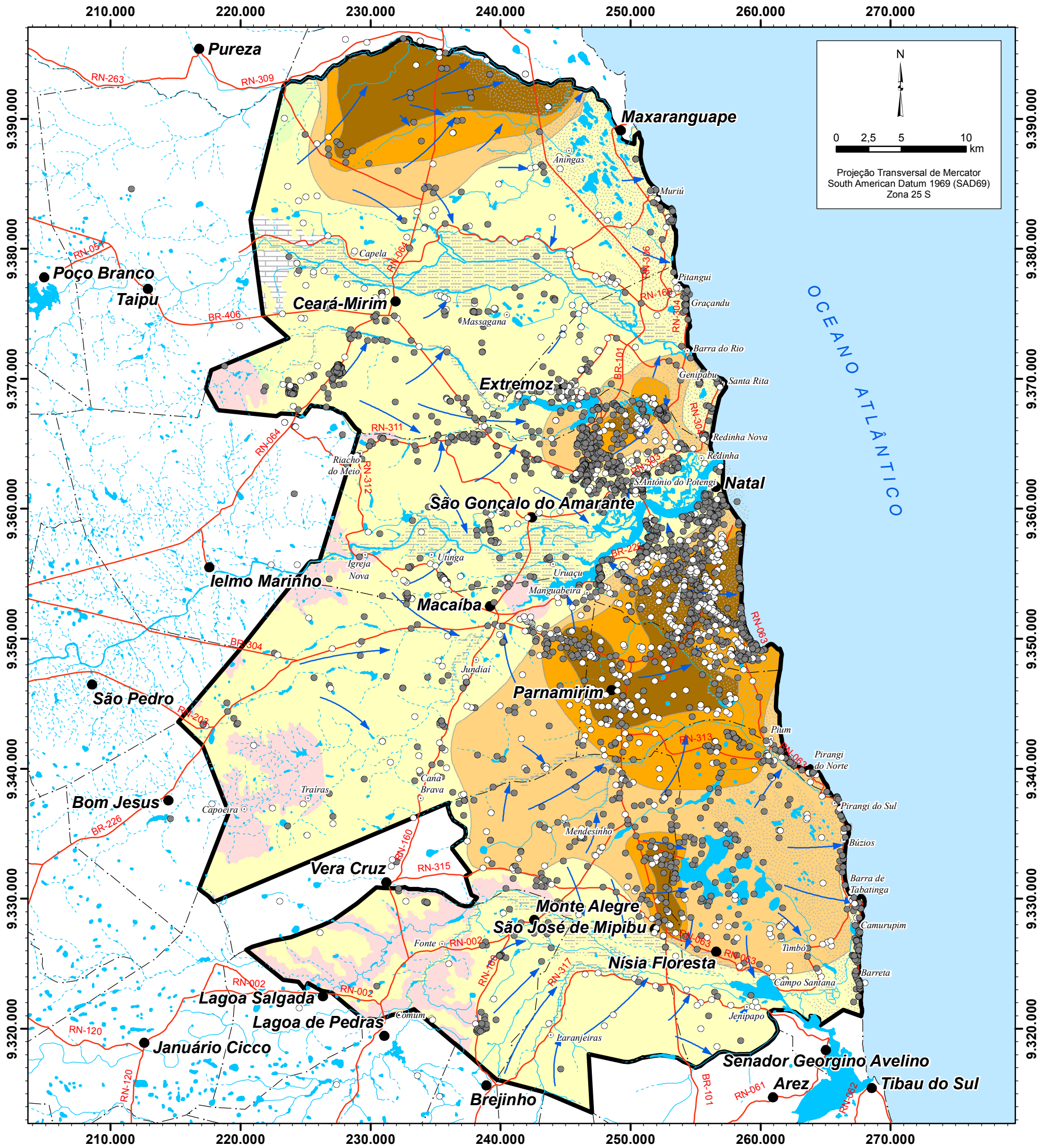
poços privados no setor sul da área, notadamente nos municípios de Monte Alegre e São José de Mipibú.

Convém ressaltar que apesar do mapa apresentado não conter informações sobre qualidade das águas, sabe-se que as águas do Sistema Aquífero Barreiras, unidade hidrogeológica de maior ocorrência, são reconhecidamente de excelente qualidade em suas condições naturais.

O mapa hidrogeológico mostra as áreas de maior potencialidade hidrogeológica da RMN do sistema aquífero Barreiras, expressas em termos de transmissividade. Os domínios de maior transmissividade e, por conseguinte, maior potencialidade são os seguintes:

- Setor norte da RMN, no vale do Maxaranguape;
- Setor sul do Município de Extremoz (margem do rio Doce);
- Setor setentrional da Zona Norte de Natal, na faixa que envolve os bairros de Gramoré e Lagoa Azul, na Zona Norte de Natal;
- Faixa compreendida entre a parte meridional da Zona Sul de Natal até o município de Parnamirim, e, em seguida se estendendo até o setor ocidental da lagoa do Bonfim no município de Nísia Floresta e São José de Mipibú.

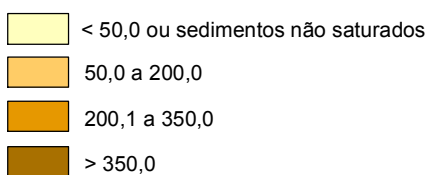
São indicadas também, no mapa hidrogeológico, as direções principais do fluxo subterrâneo. As águas subterrâneas apresentam uma tendência geral de escoamento na direção aos vales dos principais dos rios e riachos nos seus cursos superior e médio e em seguida seguem em direção ao mar. São, portanto, cursos de águas efluentes, ou seja, são alimentados pelas águas subterrâneas.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Unidades Hidrogeológicas	Descrição
Sistema Aquífero Barreiras	Parte superior formada por depósitos recentes de dunas, aluviões, eluviões e colúvios, de natureza arenosa e areno-argilosa. Parte intermediária composta por argilitos, siltes e arenitos argilosos e na parte inferior composta por arenitos de textura fina a grossa, com intercalações argilosas. Caracteriza-se por um sistema livre a semi-confinado, com transmissividade variando de 0,7 a 2.851,2 m ² /dia (média 363,5 m ² /dia); vazão específica de 0,1 a 50,0 m ³ /hm (média 4,7 m ³ /hm); espessura saturada de até 94,4 m (média 32 m); nível estático desde surgente até 66,8 m (média 19,2 m); e condutividade hidráulica de 0,1 até 691,2 média (média 16,4 média).
Jandaíra	Formado por rochas carbonáticas representadas por calcários, dolomitos e arenitos calcíferos que constituem um aquífero cárstico-fissural, de natureza livre, com porosidade desenvolvida pelo processo de circulação das águas subterrâneas ao longo de fraturas e planos de estratificação. Nível estático varia entre 1,5 a 72,0 m (média 24,1 m); e vazão específica entre 0,1 e 6,5 m ³ /hm (média 1,4 m ³ /hm).
Açu	Formado por arenitos de granulação média a grossa, silicificados, com intercalações de argilite e folhelhos, o qual pode ocorrer sob a forma livre ou semi-confinada, conforme o posicionamento dos níveis mais argilosos. Nível estático varia desde 0,3 a 56,7 m (média 26,1 m); vazão específica entre 0,1 e 6,8 m ³ /hm (média 1,0 m ³ /hm).
Cristalino	Constituído litologicamente por rochas do embasamento cristalino Pré-cambriano (gnaiesses, granitos e xistos) com porosidade secundária associada a sistemas de fraturas. Nível estático varia entre 0,1 e 36,0 m (média 9,3 m); vazão específica entre 0,1 e 9,0 m ³ /hm (média 0,7 m ³ /hm).

Transmissividade do Sistema Aquífero Barreiras (m²/dia)



Poços de Produção

- Público
- Particular

Geologia

- Depósitos aluvionares
- Depósitos de dunas e paleodunas
- Formação Jandaíra
- Formação Açu
- Embasamento cristalino

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Limites municipais
- Área de estudo

Localização da área de estudo



Figura 14.1. Mapa hidrogeológico da Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



