



Número: 302/2003
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE RECURSOS
MINERAIS

DIOGO MACEDO DE FREITAS

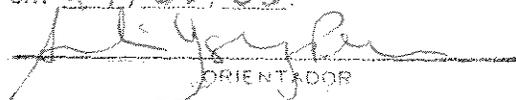
200333677

**Águas Subterrâneas na Baixada Campista (Campos dos Goytacazes, RJ):
Geometria, Qualidade e Dinâmica no Aquífero Quaternário Deltaico.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências na Área de Administração e Política de Recursos Minerais.

Orientadora: Profª. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

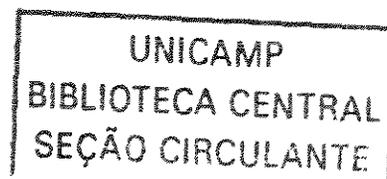
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Diogo Macedo de Freitas e aprovada pelo Conselho Julgador em 27/08/03.


ORIENTADOR

CAMPINAS - SÃO PAULO

Agosto - 2003

i



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO IG - UNICAMP

Freitas, Diogo Macedo de F884a Águas subterrâneas na Baixada Campista (Campos dos Goytacazes, RJ): geometria, qualidade e dinâmica no aquífero quaternário deltaico” / Diogo Macedo de Freitas.- Campinas,SP.: [s.n.], 2003.
Orientadora: Sueli Yoshinaga Pereira Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.
1. Águas Subterrâneas. 2. Aquíferos. 3. Recursos Hídricos. I. Pereira, Sueli Yoshinaga. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

UNIDADE	BB
Nº CHAMADA	UNICAMP
	F884a
V	EX
TOMBO BC/	56261
PROC.	16-124103
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$11,00
DATA	04/11/03
Nº CPD	

CM00189468-2

BIBID 305021



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE RECURSOS
MINERAIS

AUTOR: Diogo Macedo de Freitas

ORIENTADORA: Profª. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Aprovada em: 27/08/2003

EXAMINADORES:

Profª. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira
Prof. Dr. Edson Wendland
Prof. Dr. Job de Jesus Batista

Three handwritten signatures are shown, each on a horizontal line. The top signature is "Sueli Yoshinaga Pereira" followed by "- Presidente". The middle signature is "Edson Wendland". The bottom signature is "Job de Jesus Batista".

Campinas, 27 de agosto de 2003

Dedicatória

Em memória de Paulo Bueno Macedo.

.....

Agradecimentos

Gostaria de agradecer sinceramente a todos aqueles que contribuíram para, ou auxiliaram o desenvolvimento do presente trabalho.

Primeiramente à Professora Dra. Sueli Yoshinaga Pereira por sua orientação, apoio, discussões, sugestões e correções durante o período do estudo.

Aos Professores do Departamento de Geologia e Recursos Naturais (DGRN) pela oportunidade, confiança e incentivo ao longo do curso, em especial à Professora Dra. Rachel Negrão, à Professora Dra. Frésia Branco e ao Professor Dr. Giogio Basilici.

Ao Departamento de Geologia e Recursos Naturais e ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas pela infra-estrutura fornecida e pelo estímulo para a realização deste trabalho. Ao CNPq pelo fornecimento da bolsa de estudo. À Cia. de Saneamento do Tocantins (SANEATINS) pelo incentivo à conclusão desta pesquisa.

Ao amigo Lúcio Carramillo Caetano, pelas sugestões e ajuda durante este trabalho.

A todos os colegas e amigos que fiz na UNICAMP, em especial a Vivian Prado de Oliveira, Flávio Bocarde, José Daniel Freitas. Ao amigo Petrilson Alan Pinheiro, pela colaboração ao longo do curso.

À Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes, na pessoa do Sr. Romílton V. Bárbara, Gerente de Desenvolvimento da Secretaria de Planejamento, pelo apoio logístico durante as etapas de campo.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em seu Campus Avançado de Pesquisa, localizado em Campos dos Goytacazes, na pessoa do Sr. Gilberto Riscado, pelo apoio e hospitalidade durante as etapas de campo.

A cada um dos funcionários do Instituto de Geociências que deixo de citar nominalmente para que não incorra em injustiças, pelo carinho, apoio e compreensão.

À Professora Dra. Mara Akie Iritani, pelas discussões, críticas e sugestões, fundamentais para a realização deste.

À Professora Dra. Antenora Maria da Mata Siqueira (UFF) e ao Professor Dr. Aristides Sofiatti pelo incentivo.

E, finalmente, a toda a minha família, pelo apoio prestado durante este período.

Muito obrigado!

Sumário

Dedicatória	v
Agradecimentos	vii
Sumário	ix
Índice	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Gráficos	xiii
Lista de Tabelas	xiv
Lista de Fotos	xiv
Lista de Equações	xiv
Lista de Anexos	xv
Lista de Siglas e Abreviaturas	xvii
	xviii
Resumo	xix
Abstract	xxi

1 Introdução	1
1.1 Objetivos Gerais e Específicos	3
1.2 Localização	4
2 Aspectos do Meio Físico	7
2.1 Relevo e Solo	7
2.2 Clima	12
2.3 Hidrologia	15
2.4 Geologia	16
3 Metodologia e Técnicas Metodológicas	23
3.1 Trabalhos Realizados	23
3.1.1 Levantamento e Revisão de Bibliografia	23
3.1.2 Caracterização da Geometria do Aquífero Quaternário Deltaico	24
3.1.3 Tratamento de Dados do PROJIR (1983)	24
3.1.4 Levantamento de Dados durante a Etapa de Campo	25
3.1.5 Processamento das Amostras de Solo	29
3.1.6 Caracterização Hidroquímica e Físico-química	30
3.1.7 Avaliação de Parâmetros e Íons Representativamente Anômalos	30
3.1.8 Caracterização da Potenciometria em maio de 2002	31
3.1.9 Análise Comparativa da Situação em 1983 e 2002	31
4 Resultados - Área de Estudo	32
4.1 Aspectos Sócio-Econômicos e Ambientais	32
4.2 Hidrogeologia	36
4.2.1 Caracterização Regional	36
4.2.2 Aquífero Quaternário Deltaico	39
4.2.2.1 Cadastro de Poços no AQD	39
4.2.2.2 Geometria	41
4.2.2.3 Aspectos Sedimentológicos e Hidrodinâmicos	50
4.2.2.4 Produtividade em Poços Tubulares Profundos	61
4.2.2.5 Modelo Conceitual de Aquífero Proposto, Fluxo Subterrâneo e Condições de Contorno	70
4.2.2.6 Hidroquímica e Qualidade	72
4.3 Fato mais Recente	101
5 Considerações Finais e Recomendações	103
6 Referências Bibliográficas	107
7 Bibliografia	111

Lista de Figuras

Figura 1.1 Localização da área de estudo.	5
Figura 2.1 Seção esquemática geomorfológica do Município de Campos.	7
Figura 2.2 Fotomontagem da área , demonstrando a baixa variação altimétrica da planície costeira.	9
Figura 2.3 Unidades homogêneas relativas à evaporação (MIC & IAA, 1983).	13
Figura 2.4 Isolinhas de déficit hídrico, para o mês de fevereiro de 1983 (MIC & IAA, 1983).	14
Figura 2.5 Divisão do território fluminense em blocos crustais.	17
Figura 2.6 Seção geológica/geomorfológica esquemática, N-S.	21
Figura 3.1 Mapa de pontos da campanha de campo, em maio de 2002.	27
Figura 4.1 Delimitação aproximada dos aquíferos da região de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco do Itabapoana.	37
Figura 4.2 Seção SW-NE, do AQD ao Aquífero Barreiras.	41
Figura 4.3 Seção W-E, formada pelos dados dos poços 10, 11, 12 e 20.	43
Figura 4.4 Seção NW-SE.	43
Figura 4.5 A seção N-S demonstra um alto estrutural no embasamento.	45
Figura 4.6 Mapa de inferência do topo do embasamento cristalino.	47
Figura 4.7 Faixas de valores de capacidades específicas no AQD.	63
Figura 4.8 Poços tubulares e pontos de sondagem plotados no Mapa Geológico do Quaternário Costeiro da Metade Norte do Estado do Rio de Janeiro.	65
Figura 4.9 Legenda do Mapa Geológico do Quaternário Costeiro da Metade Norte do Estado do Rio de Janeiro (MARTIN, <i>et. al.</i> , 1997).	67
Figura 4.10 Diagrama da US Dept. of Agriculture (CPRM, 1997) com a plotagem dos pontos da campanha de maio de 2002.	95

Lista de Gráficos

Gráfico 4.1 Curva da distribuição granulométrica (mm) no ponto 3.	51
Gráfico 4.2 Gráfico de colunas da distribuição granulométrica (mm) no ponto 3.	51
Gráfico 4.3 Curva da distribuição granulométrica (ϕ) no ponto 3.	52
Gráfico 4.4 Curva da distribuição granulométrica (mm) no ponto 12.	53
Gráfico 4.5 Gráfico de colunas da distribuição granulométrica (mm) no ponto 12.	54
Gráfico 4.6 Curva da distribuição granulométrica (ϕ) no ponto 12.	54
Gráfico 4.7 Curva da distribuição granulométrica (mm) no ponto 16.	56
Gráfico 4.8 Gráfico de colunas da distribuição granulométrica (mm) no ponto 16.	56
Gráfico 4.9 Curva da distribuição granulométrica (ϕ) no ponto 16.	57
Gráfico 4.10 Curva da distribuição granulométrica (mm) no ponto 18.	58
Gráfico 4.11 Gráfico de colunas da distribuição granulométrica (mm) no ponto 18.	58
Gráfico 4.12 Curva da distribuição granulométrica (ϕ) no ponto 18.	59
Gráfico 4.13 Relação $\log T \times \log (Q/s)$.	62

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Tipos de solo no Município de Campos.	11
Tabela 4.1 Poços cadastrados no Aquífero Quaternário Deltaico até 2000.	40
Tabela 4.2 Aspectos hidrodinâmicos dos poços no AQD.	61
Tabela 4.3 Resultados das análises químicas e físico-químicas.	72
Tabela 4.4 Dados sobre a campanha de amostragem em maio de 2002.	73
Tabela 4.5 Dados do PROJIR (1983).	74
Tabela 4.6 Correlação entre CE, pH e íons analisados.	75
Tabela 4.7 Índices de carga potencial poluidora (CPP).	85
Tabela 4.8 Relação entre a condutividade elétrica (CE) e o erro permitido, por CUSTÓDIO & LLAMAS (1983), <i>apud</i> CPRM, 1997.	98
Tabela 4.9 Correlação entre ânions e cátions.	99

Lista de Fotos

Foto 4.1 Moinho de vento que bombeia água de poço raso no ponto 5a.	79
Foto 4.2 Vista do ponto 12, localizado à beira de uma propriedade voltada ao cultivo da cana-de-açúcar.	79
Foto 4.3 Ponto 2, na entrada do canavial vizinho à Usina Cupim.	91
Foto 9.1 Ponto 2, localizado próximo à Usina Cupim.	177
Foto 9.2 Ponto 3, localizado à beira da estrada Goytacazes-Tocos, a 1km de Goytacazes.	179
Foto 9.3 Ponto 4, localizado no extremo nordeste da área.	181
Foto 9.4 Ponto 5, localizado numa estrada secundária entre Tocos e Ponta Grossa dos Fidalgos.	183

Lista de Equações

Equação 4.1 Condutividade hidráulica (K). Extraída de FETTER (1994).	50
Equação 4.2 Distribuição granulométrica ($\sigma\phi$). Extraída de TUCKER (2001).	52
Equação 4.3 Transmissividade (T). Extraída de CPRM (1997).	60
Equação 4.4 Relação $\log T \times \log (Q/s)$, no AQD. Fonte: Do autor.	62
Equação 4.5 Coeficiente de erro ($e\%$). Extraída de CPRM (1997).	97
Equação 4.6 Erro prático (E_p). Extraída de CPRM (1997).	97

Lista de Anexos

Anexo 1 Campanhas piezométricas em 1983:	113
Anexo 1 (a) Dados das campanhas piezométricas do MIC & IAA (1983);	115
Anexo 1 (b) Campanha piezométrica em 17 de março de 1983;	117
Anexo 1 (c) Campanha piezométrica em 29 de março de 1983;	119
Anexo 1 (d) Campanha piezométrica em 14 de abril de 1983;	121
Anexo 1 (e) Campanha piezométrica em 28 de abril de 1983;	123
Anexo 1 (f) Campanha piezométrica em 26 de maio de 1983;	125
Anexo 1 (g) Campanha piezométrica em 30 de junho de 1983.	127
Anexo 2 Campanha piezométrica em maio de 2002.	129
Anexo 3 Tabela de erros.	131
Anexo 4 Tabela de valores-limite.	133
Anexo 5 Mapas de índices em maio de 2002:	135
Anexo 5 (a) Índices de ferro total em maio de 2002;	137
Anexo 5 (b) Índices de cloreto em maio de 2002;	139
Anexo 5 (c) Índices de nitrogênio total em maio de 2002;	141
Anexo 5 (d) Índices de potássio em maio de 2002;	143
Anexo 5 (e) Índices de sódio em maio de 2002;	145
Anexo 5 (f) Índices de sulfato em maio de 2002.	147
Anexo 6 Mapas de condutividade elétrica:	149
Anexo 6 (a) Condutividade elétrica no primeiro trimestre de 1983;	151
Anexo 6 (b) Condutividade elétrica no segundo trimestre de 1983;	153
Anexo 6 (c) Condutividade elétrica em maio de 2002.	155
Anexo 7 Mapas de índices de pH:	157
Anexo 7 (a) Índices de pH no primeiro trimestre de 1983;	159
Anexo 7 (b) Índices de pH no segundo trimestre de 1983;	161
Anexo 7 (c) Índices de pH em maio de 2002.	163
Anexo 8 Mapas de razão iônica:	165
Anexo 8 (a) Razão iônica rMg^{+2}/rCa^{+2} no primeiro trimestre de 1983;	167
Anexo 8 (b) Razão iônica rMg^{+2}/rCa^{+2} no segundo trimestre de 1983;	169
Anexo 8 (c) Razão iônica rMg^{+2}/rCa^{+2} em maio de 2002;	171
Anexo 8 (d) Razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$ em maio de 2002.	173
Anexo 9 Perfis estratigráficos das sondagens a trado em maio de 2002:	175
Anexo 9 (a) Perfil estratigráfico do ponto 2;	177
Anexo 9 (b) Perfil estratigráfico do ponto 3;	179
Anexo 9 (c) Perfil estratigráfico do ponto 4;	181
Anexo 9 (d) Perfil estratigráfico do ponto 5;	183
Anexo 9 (e) Perfis estratigráficos dos pontos 6 e 8;	185
Anexo 9 (f) Perfis estratigráficos dos pontos 10 e 12;	187
Anexo 9 (g) Perfis estratigráficos dos pontos 14 e 16;	189
Anexo 9 (h) Perfis estratigráficos dos pontos 18 e 19.	191
Anexo 10 Resultados de análises da água de poços subterrâneos rasos:	193
Anexo 10 (a) Resultado da propriedade do Sr. José Antônio da Silva Souza;	195
Anexo 10 (b) Resultado da propriedade do Sr. Elias Carvalho de Sousa.	197

Lista de Siglas, Abreviaturas e Símbolos

AQD – Aqüífero Quaternário Deltaico

b – espessura

C – coeficiente baseado na granulometria e na seleção da areia

CE – condutividade elétrica

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

CIDE – Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CPP – carga potencial poluidora

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DBO – demanda bioquímica de oxigênio

DNOS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

DQO – demanda química de oxigênio

DRM – Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro

d_{10} – tamanho efetivo do grão a 10% da porcentagem peso acumulada de finos

E.E.F.M. Veiga – Estação Experimental F.M. Veiga

Ep – erro prático

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais

FUNDENOR – Fundação para o Desenvolvimento do Norte-Fluminense

K – Condutividade Hidráulica

MIC & IAA – Ministério da Indústria e Comércio & Instituto do Açúcar e do Alcool

NA – nível d'água ou, em caso de aqüífero livre, nível freático

NE – nível estático

ND – nível dinâmico

nd – dado não disponível

OMS – Organização Mundial da Saúde

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S/A.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE RECURSOS
MINERAIS

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BAIXADA CAMPISTA (CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ): GEOMETRIA, QUALIDADE E DINÂMICA NO AQUÍFERO QUATERNÁRIO DELTAICO.

RESUMO
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Diogo Macedo de Freitas

Situada no Município de Campos dos Goytacazes, região norte-fluminense, ocupando cerca de 440km² da planície costeira (parte continental da Bacia Sedimentar de Campos), a área em estudo abrange os bairros de maior importância do município - Goytacazes, Tocos, Donana e Ururá - assim como sua sede. A baixada campista possui inúmeros córregos e canais artificiais, além de corpos de maior vulto como o rio Paraíba do Sul, a norte, e a lagoa Feia, a sul da área. Porém, as condições climáticas engendram um déficit hídrico regional. A região é tradicionalmente voltada à agricultura, tendo praticamente como monocultura o plantio da cana-de-açúcar, e sua economia baseou-se também, mais recentemente, nos royalties oriundos da produção de gás e óleo.

O objeto de estudo é o aquífero denominado como Quaternário Deltaico, constituído por solos residuais, areias, cascalhos, argilas e siltes, originados pela integração de ambientes marinhos, de acumulação fluviomarinha, fluvioacustres e acumulação fluvial, típicos de sedimentação deltaica, numa região sujeita a movimentos tectônicos, transgressões e regressões marinhas. Atualmente, o pacote sedimentar que aumenta de NW para SE, pode atingir até 120 metros de espessura.

Hidrogeologicamente, caracteriza-se como um aquífero livre, alimentado pelo rio Paraíba do Sul, com área de descarga na lagoa Feia, e um comportamento geral homogêneo, excetuando-se a faixa anômala do paleoleito do rio Paraíba do Sul. Todos os poços perfurados sobre esta faixa preferencial obtiveram excelentes vazões de exploração, chegando a alcançar 300m³/h (vazão muito acima das encontradas no restante da área). As vazões específicas variam de 0,01 a 139,24m³/h/m, os valores de transmissividade estão entre 0,678 e 9023,00m²/dia, e condutividades hidráulicas desde 0,012cm/s a valores que podem ultrapassar 0,16cm/s.

Como grande produtora de álcool, suspeita-se que a prática da fertirrigação engendre ou aumente alguns problemas qualitativos encontrados na região.

Índices de íons como potássio, ferro e sódio apresentam-se acima dos limites preconizados pela Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde, em toda a área de estudo. Valores de nitrogênio total encontram-se fora dos limites apenas sob as áreas de concentração urbana. Análises de amostras coletadas a pouca profundidade (aproximadamente 3m) classificaram-nas, com vistas ao aproveitamento na agricultura, como águas de salinidade média a alta e fracamente sódicas.

O clima tropical (quente e seco na maior parte do ano), juntamente com processos agrícolas praticados na área e a influência marinha, incrementam a salinização do solo e da água subterrânea sendo, de maneira geral, a região sul/sudeste da área em questão, a mais problemática do ponto de vista qualitativo. Acompanhando a tendência de variação do nível de água na região de descarga, os índices pesquisados estão sujeitos a mudanças de concentrações no decorrer do ciclo hidrológico.



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE RECURSOS
MINERAIS**

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BAIXADA CAMPISTA (CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ): GEOMETRIA, QUALIDADE E DINÂMICA NO AQUÍFERO QUATERNÁRIO DELTAICO.

**ABSTRACT
MASTER DISSERTATION**

Diogo Macedo de Freitas

Located in Campos dos Goytacazes municipality, northern region of Rio de Janeiro State, comprising approximately 440km² of the coastal plain (continental portion of Campos Sedimentary Basin), the area under study comprises the most important districts of the municipality – Goytacazes, Tocos, Donana e Ururai – such as its headquarters. The Campos's slope has plenty of brooks and artificial channels, in addition to greater bodies such as Paraíba do Sul river to the north and Feia lagoon to the south. However, the climatic conditions engenders a regional hydric deficit. That is an agricultural land traditionally based on the sugar cane monoculture and more recently its economy has depended on gas and oil production royalties.

The object of study is the Deltaic Quaternary Aquifer, which was formed by residual soils, sands, gravels, clays and silts arising from integration of sea, river-sea, river and river-lake accumulation environments; a typical deltaic sedimentation on an area subject to tectonic movement and sea level transgressions and regressions. Nowadays, the sedimentary package which spreads from NW to SE can reach until 120 meters in thickness.

That is an unconfined aquifer fed by Paraíba do Sul river, with discharge area on Feia lagoon, and in an almost homogeneous behaviour, excepting from the anomalous strip of the Paraíba do Sul paleochannel. All the wells drilled on this preferential strip gained excellent discharge output, which reached until 300m³/h (discharge output very much above the ones found on the remaining area). The specific capacity varies from 0,01 to 139,24m³/h/m, the transmissivity values vary from 0,678 to 9023,00m²/dia, and the hydraulic conductivity values vary from 0,012cm/s to which can exceed 0,16cm/s.

As it is a big alcohol producer, there is a suspicion that bad agricultural practices engender or increase quality problems on that area.

Indexes of ions such as potassium, iron and sodium are above the limits by the Brazilian health ministry, in all over the area of study. The total nitrogen values are above the limits just under urban concentration areas. Analyses of little deep sample collections (approximately 3 meters) were classified with regards to agriculture use and medium to high salinity and powerless sodium waters.

The tropical climate (hot and dry throughout the year), together with agricultural processes and marine influence, increased groundwater and soil saltiness, in general, the southern / south-eastern region of the area of study, which presents the worst saltiness situation from the qualitative point of view. Following the groundwater variation tendency on the discharge area, the studied indexes are subjected to changes of concentrations in the course of the water cycle.

Introdução

Muito comum em países com pouca disponibilidade hídrica superficial como França e Alemanha, o uso da água subterrânea está cada vez mais difundido no território brasileiro, em muitos casos, substituindo e/ou complementando captações superficiais.

Devido à alta vulnerabilidade qualitativa, pelo fato de estarem diretamente sujeitos a contaminantes lançados em seus corpos hídricos, e quantitativa, posto que parte do volume de água destes corpos está relacionada com o volume de precipitação e à sazonalidade das chuvas, os mananciais superficiais começam a ser preteridos nas escolhas de captações para abastecimento de cidades e outros tipos de aglomerações urbanas. Além de possuir parâmetros físico-químicos naturalmente mais elevados do que aqueles encontrados em águas subterrâneas, como cor e turbidez, quando o corpo hídrico no qual é captada a água de abastecimento atravessa zonas industriais num número grande de cidades (como é o caso do rio Paraíba do Sul - principal rio na área de estudo), passa a apresentar uma carga de poluição muito alta, o que engendra maiores gastos no processo de tratamento desta água, antes de sua distribuição.

No passado, havia uma maior preocupação de quais seriam os impactos do crescimento econômico sobre o meio ambiente, agora isto se inverteu, levando mais em conta os impactos do desgaste ecológico sobre as perspectivas econômicas. Área após área, a deterioração do meio ambiente está minando o potencial de desenvolvimento. A proteção ao meio ambiente é inerente ao desenvolvimento sustentável, na medida em que visa mais às causas que aos sintomas dos problemas ambientais.

A área em estudo - situada no Município de Campos dos Goytacazes - apresenta um quadro ambiental preocupante por: estar inserida na região norte-fluminense, região esta que vem sofrendo déficit hídrico; intenso uso do solo para a agricultura; ter suas características hídricas originais totalmente modificadas por obras de drenagens em toda a área da baixada. Entretanto, como um alento, na área encontra-se o aquífero denominado como Aquífero

Quaternário Deltaico (AQD), unidade hidrogeológica com grande potencial hídrico subterrâneo, utilizada mormente para fins de abastecimento urbano.

Por causa da diversidade de contextos ecológicos, tecnológicos, sociais e culturais, um gerenciamento ambiental adaptativo (NORGAARD, 1998) é a abordagem mais apropriada, pois o entendimento de problemas e a descoberta e implementação de soluções requerem um conhecimento contextual, experimental, além do conhecimento aplicado. Tendo isto em vista, quanto melhor caracterizada e contextualizada estiver a situação de uma área, mais fácil serão a solução e/ou o manejo do problema, assim como maior chance de êxito ambos terão. Mediante este senso comum, são apresentadas abaixo as principais justificativas para o desenvolvimento deste trabalho:

- O grande potencial hídrico apresentado pelo AQD no estudo de CAETANO (2000), com valores de $8.193,00\text{m}^2/\text{dia}$ de transmissividade média. Segundo este autor, tais valores são os mais altos encontrados em todo o Estado do Rio de Janeiro;
- A complexidade geológica, que é inerente a sistemas deltaicos. O aquífero apresenta intercalações de lentes de areia e argila, por vezes muito orgânicas, que caracterizam um paleoambiente construído por antigos leitos de canais entrelaçados e lagos / lagoas que constituíam ambientes redutores e eram constantemente inundados por transgressões marinhas;
- Uma população próxima de 260.000 habitantes vivendo na área de interesse da Baixada Campista (cerca de 63% do total de habitantes do Município de Campos), além da constante expansão urbana; e
- A forte tradição agrícola da região. É fato que cerca de 48% da área do município é voltada à agricultura, podendo ser esta considerada como uma monocultura, pois aproximadamente 98% da mesma é ocupada pela cana-de-açúcar.

1.1 Objetivos Gerais e Específicos

Os objetivos gerais do presente trabalho foram:

- Caracterizar hidrogeologicamente o Aquífero Quaternário Deltaico (AQD) - formação hidrogeológica de maior capacidade de transmitir quantidades significativas de água dentre todas as outras formações do Estado do Rio de Janeiro - considerando alguns aspectos intrínsecos deste; e
- Prestar subsídios técnicos à administração do Município de Campos dos Goytacazes na gestão dos recursos hídricos, enfocando a melhor forma de utilização do aquífero em questão para ajudar a suprir a demanda de água da população, minimizando problemas hídricos quantitativos e, principalmente, qualitativos.

Como objetivos específicos podemos citar:

- Caracterizar a geometria do Aquífero Quaternário Deltaico através de dados já cadastrados na bibliografia;
- Obter um panorama hidroquímico e de qualidade da água do aquífero freático, por meio de perfurações a trado e coletas em poços residenciais rasos, no intuito de se verificar a qualidade desta água, a qual é muitas vezes consumida por moradores, principalmente na área rural;
- Avaliar íons presentes e parâmetros cujos valores estejam fora dos limites praticados na legislação brasileira;
- Caracterizar a potenciometria atual e compará-la com a potenciometria determinada anteriormente por outros autores; e
- Contribuir para o detalhamento hidrodinâmico do aquífero.

1.2 Localização

Com uma área aproximada de 440km², dos quais cerca de 20km² são ocupados por concentrações urbanas, o Aquífero Quaternário Deltaico ocupa uma grande parte da baixada do Município de Campos dos Goytacazes (região norte-fluminense).

Este Município limita-se a norte pelo Estado do Espírito Santo, a nordeste pelo Município de São Francisco de Itabapoana, a leste pelo Município de São João da Barra e o oceano Atlântico, ao sul pelos municípios de Quissamã, Conceição de Macabu e Santa Maria Madalena, a oeste por São Fidélis e a noroeste por Cardoso Moreira, Italva e Bom Jesus do Itabapoana. A distância do Município em questão à capital do Estado do Rio de Janeiro é de cerca de 275km, e o acesso é feito pela rodovia federal BR 101.

Como se pode observar na Figura 1.1, a sede do município está situada nas coordenadas 21° 45' 15" de latitude Sul e 41° 19' 28" de longitude Oeste, à margem direita do rio Paraíba do Sul, em seu baixo curso (cerca de 30km de sua foz). A área de interesse encontra-se a sul do rio Paraíba do Sul e sua topografia decresce, numa distância de cerca de 25km, 13 metros da sede do município a quase o nível do mar nas proximidades de Ponta Grossa dos Fidalgos.

2 Aspectos do Meio Físico

Neste item são descritas características do meio físico da área em questão, abordando os tópicos Relevo e Solo, Clima e Vegetação, Geologia e Hidrologia de forma resumida, com o intuito de situar o leitor e embasar o desenvolvimento e algumas conclusões do presente trabalho.

2.1 Relevo e Solo

O Município de Campos encontra-se na porção continental da Bacia de Campos, apresentando basicamente três unidades geomorfológicas: colinas e maciços costeiros formados por rochas de idade pré-cambriana (CIDE, 1997), as quais constituem a S/SE o embasamento cristalino da bacia; os tabuleiros costeiros produzidos por depósitos sedimentares com origem no Cenozóico, a partir do Terciário Superior; e a planície costeira, de idade quaternária, formada em ambientes de sedimentações fluvial, lacustre e marinha, sofrendo, ao longo da sua formação, grande influência deltaica do rio Paraíba do Sul, cuja foz atual encontra-se a aproximadamente 30km do limite do município.

Abaixo, é possível observar estas formações geomorfológicas, através de uma seção esquemática com direção N-S, que tem início próximo ao limite norte do município, passa sobre a sede da cidade de Campos, finalizando sobre o limite sul, a lagoa Feia.

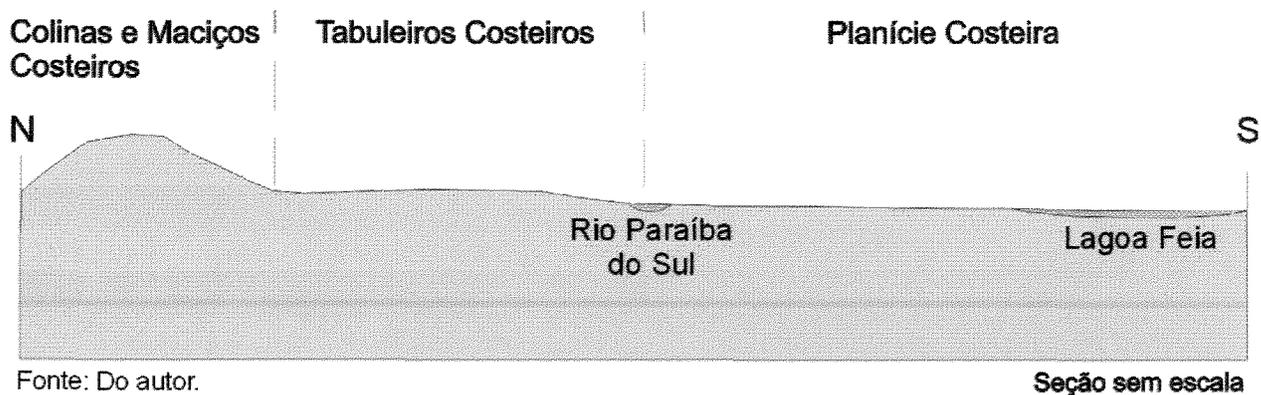


Figura 2.1: Seção esquemática geomorfológica do Município de Campos.

Os tabuleiros costeiros no Município de Campos são sedimentos terciários, com altura de até 30 metros (cotas mais altas do que as encontradas na planície costeira) e se localizam num pequeno trecho no extremo sul/sudoeste do município, bem como numa estreita faixa próxima à cidade de Campos que se prolonga para norte e nordeste, alcançando o oceano no Município de São Francisco de Itabapoana. Sua declividade engendra uma direção preferencial NW/SE às drenagens ali existentes.

Entre os tabuleiros, localiza-se a planície costeira, a qual compreende a baixada campista (área em estudo), tendo sido formada por sedimentos de idade quaternária, associados ao delta do rio Paraíba do Sul. A planície costeira é caracterizada por baixa variação altimétrica e cotas próximas ao nível do mar, se estendendo até as encostas das colinas e maciços costeiros (CIDE, 1997). Foi constituída pela integração de ambientes marinhos, ambientes de acumulação fluviomarinha, ambientes fluviolacustres e ambientes de acumulação fluvial.

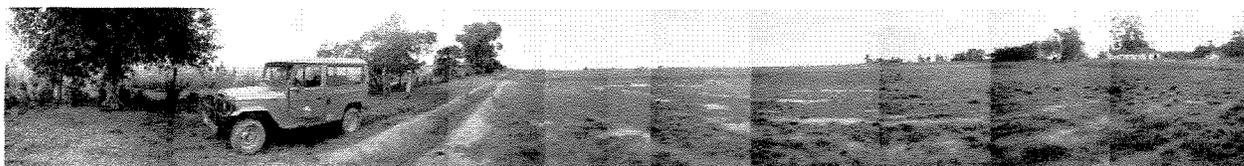


Figura 2.2: Fotomontagem da área, demonstrando a baixa variação altimétrica da planície costeira.

Com relação aos tipos de solo existentes, segundo o Projeto RADAMBRASIL (1983), no Município de Campos se fazem presentes: o podzol hidromórfico, o podzólico, o glei, o orgânico, o aluvial e solonchack, distribuídos conforme a tabela a seguir:

TABELA 2.1
TIPOS DE SOLO NO MUNICÍPIO DE CAMPOS

Unidade Geomorfológica	Tipos de Solos				
Planície Quaternária	Podzol hidromórfico	Glei	Orgânico	Aluvial	Solonchack
Tabuleiros Terciários	Solos podzólicos	Amarelo álico	Vermelho-escuro	Vermelho-amarelo	

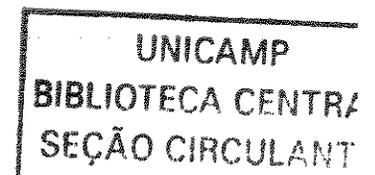
Fonte: Do autor.

Dados: Projeto RADAMBRASIL (1983)

De maneira geral, os solos podzólicos aparecem nos tabuleiros costeiros de idade terciária, agrupando os solos Podzólico amarelo álico, Podzólico vermelho-escuro e Podzólico vermelho-amarelo.

No Quaternário encontramos os solos:

- Podzol hidromórfico, derivado de sedimentos areno-quartzosos de acumulação marinha ao longo das planícies litorâneas;
- Glei, relacionado a depósitos orgânicos e de aluviões nas várzeas dos principais rios;
- Solos orgânicos hidromórficos, pouco evoluídos, caracterizados por matéria vegetal em decomposição sobre sedimentos fluviolacustres;
- Aluviais, formados por sedimentos transportados, também localizados nas várzeas dos principais rios; e
- Solonchak sódico, solos salino-sódicos com presença de conchas marinhas, devido às influências da maré.



2.2 Clima

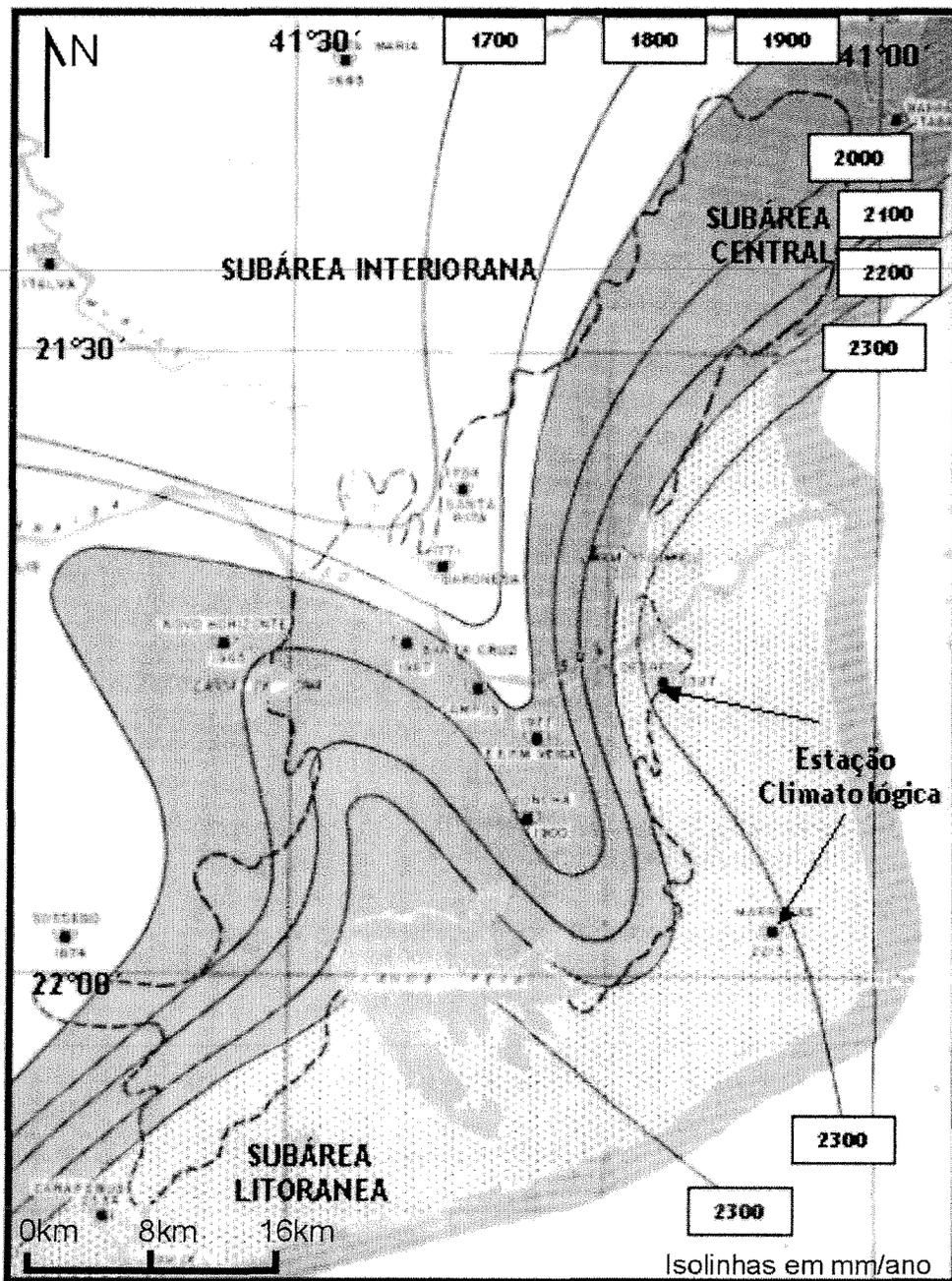
Localizando-se a norte do Trópico de Capricórnio, assim como todo o território do Estado do Rio de Janeiro, predomina na área um clima tipicamente Tropical, com altas temperaturas no verão. O clima no Município de Campos dos Goytacazes foi classificado pela Fundação CIDE (1997) como quente (temperaturas acima de 18°C) e semi-úmido (4 a 6 meses secos) e seco (7 a 10 meses secos). Segundo MIC & IAA (1983), a região apresentava valores de temperatura média mensal variando desde 20°C a 26°C, aumentando em direção ao interior. No verão, a temperatura média mensal encontra-se entre 31° no litoral, 32°C na região central e 34°C no interior, e no inverno, na ordem de 14°C. As temperaturas máximas atingem 40°C no interior e mínimas de 6°C no litoral e interior.

A evaporação potencial apresenta grande variação, alcançando valores aproximados de 1.900mm/ano, no interior, a 2.300mm/ano, no litoral, devido aos ventos que atuam na região, como demonstra a Figura 2.3. Esses ventos apresentam grande variação ao longo do dia (maior intensidade das 10 às 20 horas, com velocidades desde 34km/h a 22km/h). As calmarias acontecem nos meses de junho e julho e, em geral, os ventos são de direções nordeste, significativamente sudoeste, sul, sudeste e leste.

A distribuição da insolação total varia de 225,3 horas (janeiro) para 147,9 horas em outubro em Campos (período de 1931 a 1981), seguindo essa tendência em Macaé (226,2 horas em janeiro e 152,8 horas em setembro - período de 1972 a 1981). A radiação solar, verificada em posto da E.E.F.M. Veiga, na região de estudo, variou entre 15.914cal/cm² em janeiro a 9.008cal/cm² em junho (MIC & IAA, 1983).

A precipitação anual na área, segundo MIC & IAA (1983) encontra-se na faixa de 800 a 1200mm, com aumento para o interior. Os meses mais chuvosos (80% do total) ocorrem entre outubro e abril, e os meses menos chuvosos, entre julho e agosto.

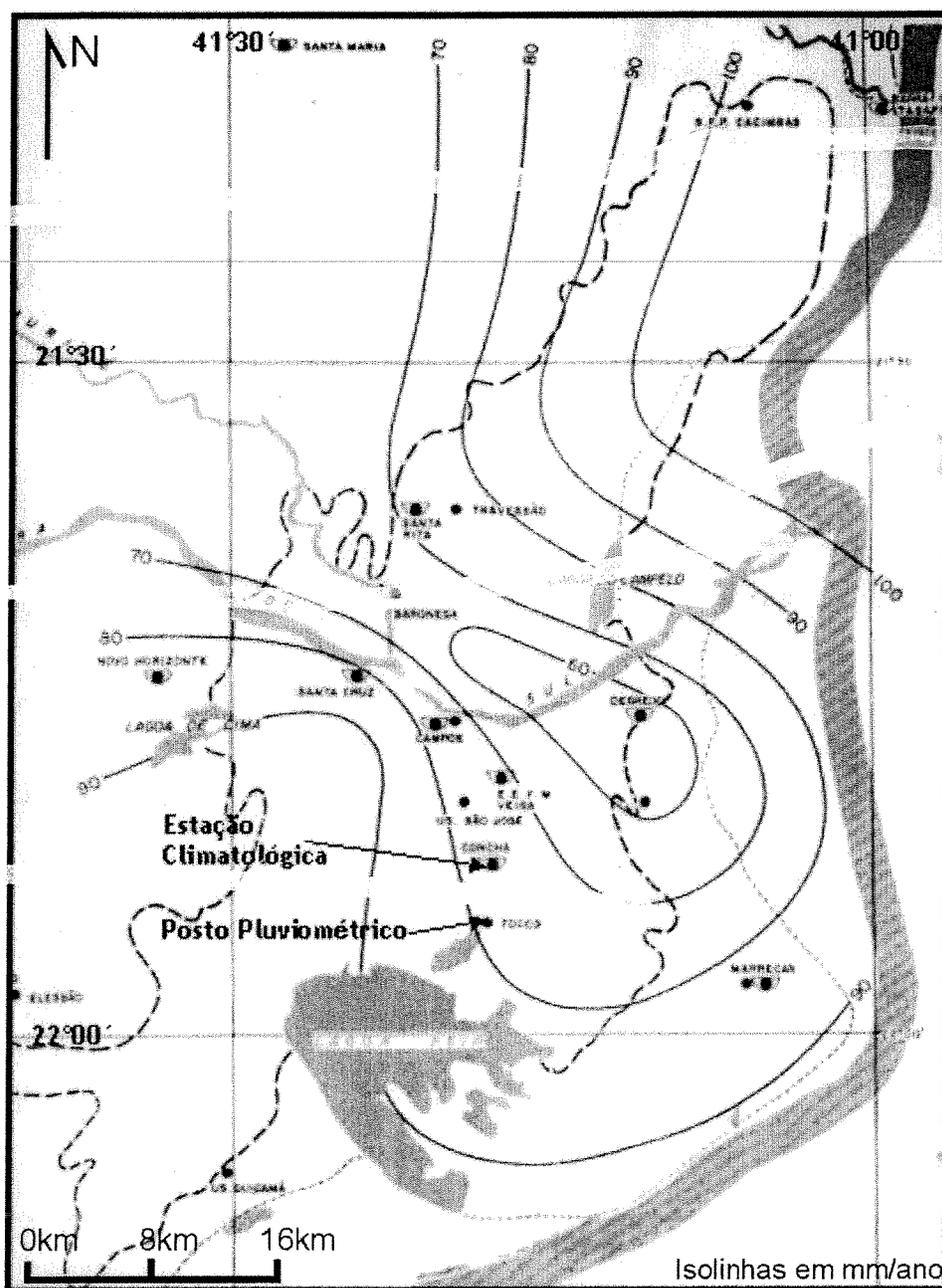
A região sofre uma intensa evaporação, acima da média de precipitação, em direção à zona costeira. Evidências de salinização dos terrenos, resultados desse alto déficit hídrico, são ali encontradas.



Fonte: Modificado de MIC & IAA (1983).

Figura 2.3: Unidades homogêneas relativas à evaporação (MIC & IAA, 1983).

Ainda se reportando ao relatório do MIC & IAA (1983), os autores elaboraram também o mapa de déficits hídricos para o mês de fevereiro (mais crítico) na área de estudo, conforme se observa na Figura 2.4 a seguir:



Fonte: Modificado de MIC & IAA (1983).

Figura 2.4: Isolinhas de déficit hídrico, para o mês de fevereiro de 1983 (MIC & IAA, 1983)

Conforme demonstra a Figura 2.4, os maiores valores de déficits hídricos da região situavam-se a nordeste do rio Paraíba do Sul, atingindo 100mm/ano. Dentro da área do AQD, os valores mais altos encontravam-se na porção sudoeste, sendo representados pela isolinha de 90mm/ano.

2.3 Hidrologia

Quanto à hidrografia, o Município de Campos é banhado por três volumosos rios: Paraíba do Sul, Muriaé e Itabapoana, porém, na área de interesse, a maior influência é do rio Paraíba do Sul. Nota-se, sobre o Quaternário Deltaico, a presença de inúmeros córregos e canais artificiais, os quais formam a malha de drenagem que interliga o rio Paraíba do Sul à lagoa Feia, podendo ser observada na Figura 3.1 (Mapa de pontos da campanha de campo, em maio de 2002). São eles: canal do Ermo, canal da Cachoeira, canal Campos-Macaé, canal de Tocos, canal de São José, canal de Coqueiro, canal de Suçunga, canal do Nicolau, córrego do Pontal, vala do Mato, vala Correnteza, rio Preto, rio Macacua, rio da Pedra, além do rio Ururaí, um rio bem representativo localmente, e importantes lagoas, como a lagoa de Cima (a noroeste da área), a lagoa Feia e a lagoa do Jacaré, ambas a sul da área.

O rio Muriaé, que apresenta sua confluência poucos quilômetros a noroeste do centro da cidade de Campos e mostra-se como um dos mais importantes afluentes do rio Paraíba do Sul na região, apresenta a média das vazões máximas de $539,43\text{m}^3/\text{s}$, a média das mínimas de $28,00\text{m}^3/\text{s}$ e a média das médias de $119,50\text{m}^3/\text{s}$.

Os valores das vazões do rio Paraíba do Sul medidos no posto fluviométrico da ponte municipal (bacia de contribuição de 55.499km^2), no período de 1934 a 1996 apresentaram a média das vazões máximas de $3.357,11\text{m}^3/\text{s}$, a média das mínimas de $331,26\text{m}^3/\text{s}$ e a média das médias, de $875,97\text{m}^3/\text{s}$.

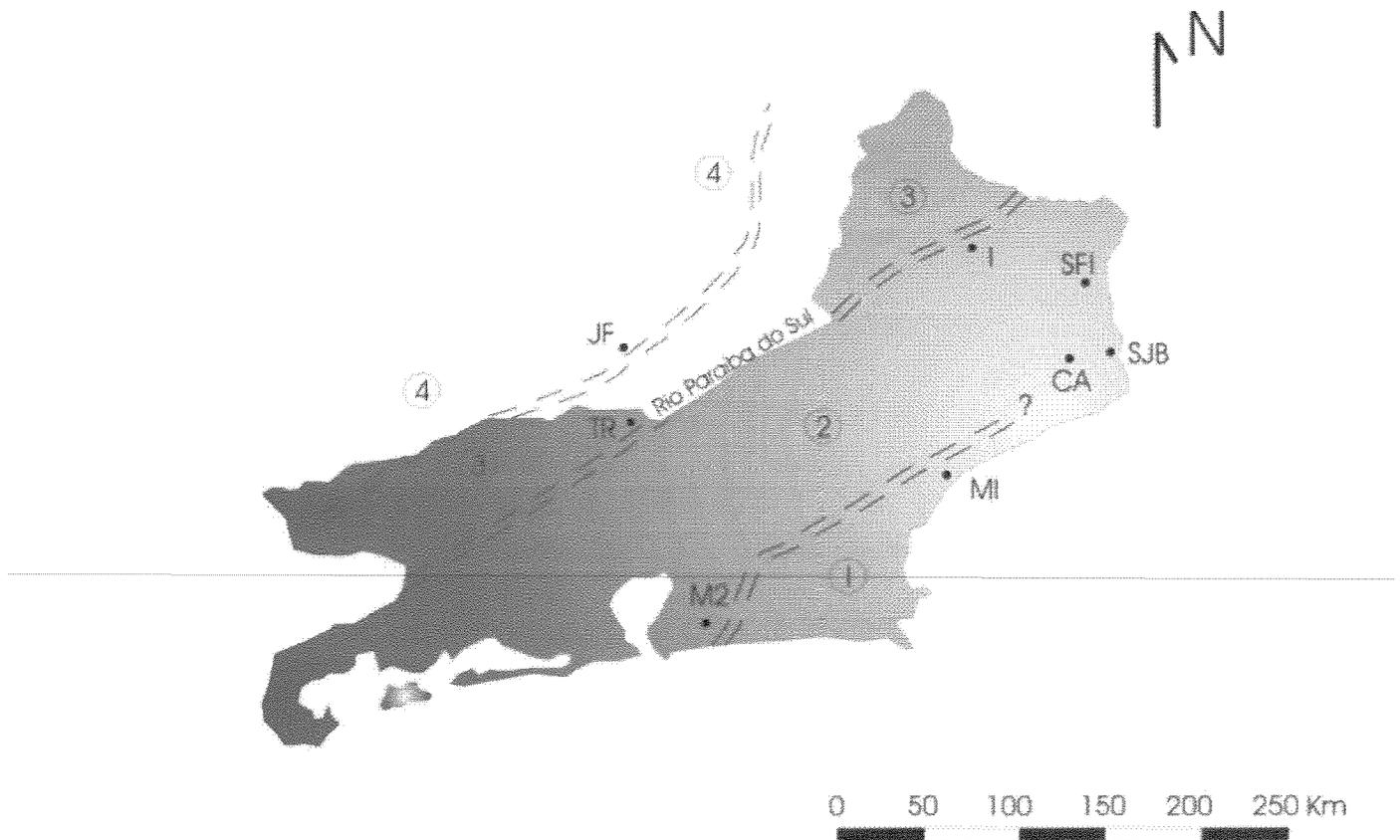
Há décadas atrás, a baixada campista apresentava uma grande densidade de áreas alagadiças, lagos, lagoas, canais e rios meandrantés. Após várias obras de drenagem e retificação de canais, interligando o rio Paraíba do Sul à lagoa Feia e

esta ao oceano Atlântico, executadas principalmente pelo DNOS entre 1950 e 1970, no intuito de aumentar áreas agriculturáveis e irrigar as culturas, a baixada sofreu uma sensível queda quantitativa hídrica.

2.4 Geologia

Segundo FONSECA (1998), o Estado do Rio de Janeiro é dividido estruturalmente em três grandes segmentos crustais, conforme demonstra a Figura 2.5. De SE para NW, respectivamente, de Bloco de Cabo Frio, Bloco da Serra dos Órgãos e Bloco ou Segmento das Zonas de Cisalhamento. A área em apreço está geologicamente inserida no Bloco de Cabo Frio, porém, próxima à área de transição entre o Bloco de Cabo Frio e o Bloco Serra dos Órgãos. Este bloco tem seu limite geográfico a leste da Baía da Guanabara, ocupa a extremidade sudeste do território fluminense, abrangendo a Região dos Lagos Fluminenses, do leste de Maricá ao norte de Macaé.

O Bloco de Cabo Frio apresenta estruturas rúpteis locais, grande variação na orientação de seus elementos estruturais e da constituição e natureza das suas unidades litológicas e ausência de granitogênese brasileira. Entre o Bloco Cabo Frio e o Bloco Serra dos Órgãos (diretamente superior) há uma zona de cisalhamento de direção NE-SW, entretanto, esta não se estende por todo o limite entre os dois blocos.



Fonte: Modificado de Fonseca (1998).

Figura 2.5: Divisão do território fluminense em blocos crustais.

LEGENDA

UNIDADES CRUSTAIS:

- 1 - BLOCO CABO FRIO
- 2 - BLOCO SERRA DOS ÓRGÃOS
- 3 - SEGMENTO DAS ZONAS DE CIZALHAMENTO
- 4 - BLOCO JUIZ DE FORA

CIDADES:

- CA - Campos dos Goytacazes
- I - Italva
- JF - Juiz de Fora
- M1 - Macaé
- M2 - Marica
- SFI - São Francisco do Itabapoana
- SJB - São João da Barra
- TR - Três Rios

Ainda dentro do contexto do Bloco de Cabo Frio, destacamos a Bacia de Campos, na qual a área de estudo se encontra. Segundo SILVA (1987), “a área sedimentar da bacia de Campos é limitada ao norte pelo Arco de Vitória que a separa da Bacia do Espírito Santo, e ao sul pelo Arco de Cabo Frio que a separa da Bacia de Santos. A oeste, um sistema de falhas SW-NE põe sedimentos em contato com o embasamento cristalino, e a leste, a 100-150km da costa, é encontrado o talude continental”.

Quanto à sua gênese e evolução, a Bacia de Campos se assemelha às outras bacias mesozóicas-cenozóicas da margem continental brasileira. Em termos estruturais, são notados dois sistemas semitransversais (NE-SW e NW-SE) de alinhamentos regionais na bacia que originaram uma alternância de horsts e grabens.

Na base de sua estratigrafia, a Bacia de Campos caracteriza-se por um embasamento de rochas magmáticas e magmática - metamórficas, pertencentes às seguintes unidades litológicas: Complexo Região dos Lagos, Complexo São Fidélis e Granitóides Serra dos Órgãos.

O Complexo Região dos Lagos é constituído de rochas de idade paleoproterozóica, principalmente granitóides de composição granítica, granodiorítica e tonalítica, migmatitos homogêneos e heterogêneos, e lentes anfibolíticas.

O Complexo São Fidélis é representado por metassedimentos migmatizados de idade brasiliana e gnaisses facoidais a sub-facoidais pré-brasilianos do Rio de Janeiro, com massas charnoquíticas não assimiladas (CAETANO, 2000).

Os Granitóides Tonalíticos Serra dos Órgãos possuem caráter ígneo intrusivo sin-orogênico e composição homogênea. Ocorrem como *stocks*, diques, soleiras em tamanhos variáveis, sendo tardi e pós-cinemáticos ao Ciclo Brasileiro.

As unidades sedimentares encontradas na região de estudo e circunvizinhanças sobre o embasamento cristalino, denominam-se Formação

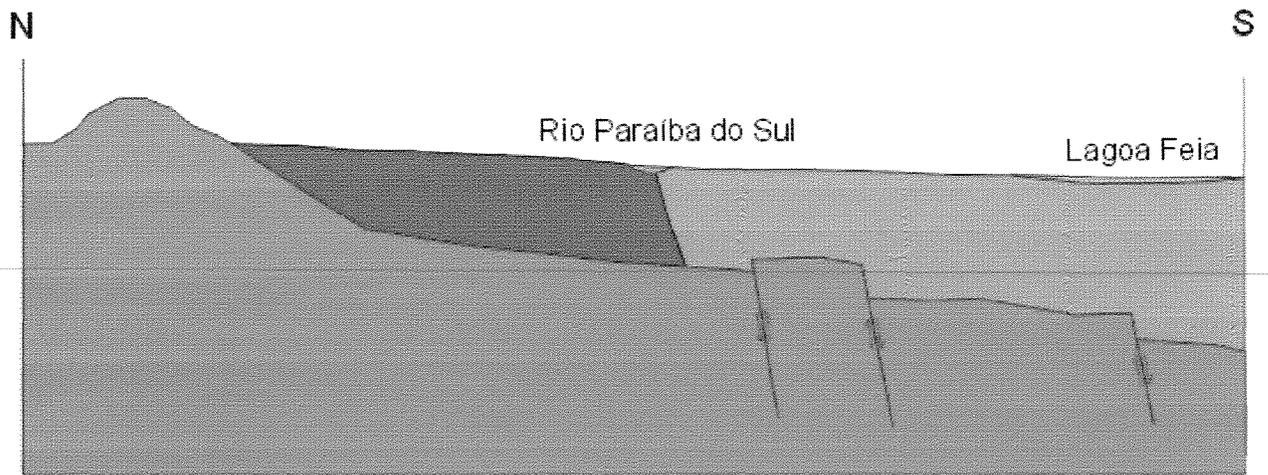
Emborê, Formação Barreiras, ambas de idade terciária, e Depósitos Quaternários.

A Formação Emborê é caracterizada por areias quartzosas, arenitos e matriz argilosa, com grãos fracamente consolidados por material carbonático, por vezes intercalados a argilitosossilíferos, calcarenitos, calciruditos e dolomitos.

A Formação Barreiras é composta por arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados continentais, clásticos, afossilíferos de cores vivas, geralmente friáveis e freqüentemente lenticulares, de idade cenozóica.

Os Depósitos Quaternários da área são marcados pela diversidade de uma sedimentação em região costeira, sujeita a movimentos tectônicos, transgressões e regressões marinhas e todos os processos por estas acarretadas. São sedimentos arenosos, brancos e/ou acastanhados coesos com ou sem presença de conchas; argilo-arenosos provenientes de deposição lagunar, argilosos micáceos e turfas.

Parte da estratigrafia mencionada anteriormente se encontra demonstrada na Figura 2.6, a seguir, numa seção esquemática N-S da região de estudo.



Fonte: Do autor.

Seção sem escala

Legenda:

-  Depósitos quaternários da planície costeira. Sedimentos arenosos, areno-argilosos e argilosos. Ação de movimentação tectônica, transgressões e regressões.
-  Depósitos terciários dos tabuleiros costeiros. Arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados continentais da Formação Barreiras.
-  Rochas magmáticas a magmática-metamórficas formadoras das colinas e maciços costeiros, assim como do embasamento cristalino.
-  Direção e sentidos do movimento relativo.

Figura 2.6: Seção geológica/geomorfológica esquemática. N-S.

3 Metodologia e Técnicas Metodológicas

A metodologia adotada neste trabalho foi a da pesquisa descritiva. Este tipo de metodologia baseia-se na observação, entendimento e descrição do objeto de estudo por meio da aplicação das técnicas metodológicas mencionadas ainda neste capítulo.

3.1 Trabalhos Realizados

De acordo com a metodologia adotada, foram elaborados os seguintes estudos, como suporte ao desenvolvimento da pesquisa:

- Levantamento e revisão de bibliografia.
- Caracterização da geometria do Aquífero Quaternário Deltaico.
- Tratamento dos dados do Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-Açúcar na Região Norte-Fluminense (PROJIR, 1983).
- Levantamento de dados durante a etapa de campo.
- Caracterização hidroquímica e físico-química deste aquífero.
- Avaliação de parâmetros e íons representativamente anômalos.
- Caracterização da potenciometria em maio de 2002.
- Processamento das amostras de solo.
- Análise comparativa da situação em 1983 e 2002.

Tais técnicas metodológicas são descritas sucintamente a seguir.

3.1.1 Levantamento e Revisão de Bibliografia

Visando-se entender melhor o objeto de estudo, e todo o contexto no qual o mesmo está inserido, foi executado um levantamento junto a bibliotecas de instituições de pesquisa, órgãos governamentais e empresas que atuam ou atuaram na área em questão (dentre os quais estão a UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda; UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas; CPRM - Serviço Geológico do Brasil; Transterra Poços Artesianos; CIDE - Fundação Centro de Informações e Dados

do Rio de Janeiro; e DRM – Departamento de Recursos Minerais), na busca de trabalhos científicos, relatórios, mapas e quaisquer documentos afins. Tal material foi lido e interpretado de maneira que aumentasse a compreensão acerca da área e do problema, tendo sido assim utilizado na presente pesquisa.

3.1.2 Caracterização da Geometria do Aquífero Quaternário Deltaico

Baseando-se no cadastro de poços de CEDAE (1980) e em CAETANO (2000), enfocando apenas o Aquífero Quaternário Deltaico, visou-se definir em mais detalhe a geometria do mesmo, por meio de quatro seções geológicas em diversas direções, que vieram por auxiliar a visualização da área estudada e tentar determinar o topo do embasamento cristalino dentro da área de interesse.

Após a confecção das seções, as cotas do embasamento cristalino foram lançadas em um mapa, baseado no Mapa de Delimitação Aproximada dos Aquíferos da Região de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco do Itabapoana (CAETANO, 2000), inferindo uma superfície para o contato topo do embasamento cristalino / base do Aquífero Quaternário Deltaico. Esta superfície inferida foi cruzada com os dados geológicos e estruturais obtidos no Mapa Geológico do Rio de Janeiro (FONSECA, 1998), no mapa de MARTIN *et. al.* (1997), Carta de Sombra Magnética do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 1998), Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2001), para uma melhor compreensão da geometria do embasamento cristalino, dando origem ao Mapa de Inferência do Topo do Embasamento Cristalino. Tal cruzamento dá maior credibilidade à inferência proposta. Desta maneira, torna-se mais fácil a visualização da geometria do Aquífero Quaternário Deltaico.

3.1.3 Tratamento de Dados do PROJIR (1983)

PROJIR (1983) é a denominação do Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-Açúcar na Região Norte-fluminense, promovido pelo extinto Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) do então Ministério da Indústria e do Comércio (MIC), na região no início da década de 80. Deste projeto, foram gerados relatórios técnicos, pela empresa Sondotécnica – Engenharia de Solos S.A.,

abordando diversos temas acerca da área, como clima, hidrologia, pedologia, hidrogeologia e geologia, com vistas a um melhor rendimento no plantio e na colheita da cana-de-açúcar no norte-fluminense. Durante a execução do projeto, entre outros estudos, foi feita uma campanha piezométrica em toda a área (Anexo 1a - Dados das campanhas piezométricas do MIC & IAA, 1983), na qual levantaram-se dados praticamente mensais sobre a potenciometria das águas subterrâneas. Os dados que constam no Anexo 1(a) foram tratados utilizando-se o programa Surfer 6 da Golden Software, gerando os mapas potenciométricos apresentados nos Anexos 1(b), 1(c), 1(d), 1(e), 1(f) e 1(g), utilizados para a melhor interpretação do fluxo subterrâneo.

3.1.4 Levantamento de Dados durante a Etapa de Campo

Em maio de 2002 deu-se a etapa de campo, na qual objetivou-se um levantamento de dados atuais sobre a região, através de sondagens a trado em 4", coleta de amostras de solo, medição da profundidade do NA (nível freático) e amostragem de água nos pontos de perfuração, assim como em alguns poços rasos pertencentes a residências na área de pesquisa, conforme o mapa de pontos a seguir.

Mapa de Pontos da Campanha de Campo em Maio de 2002

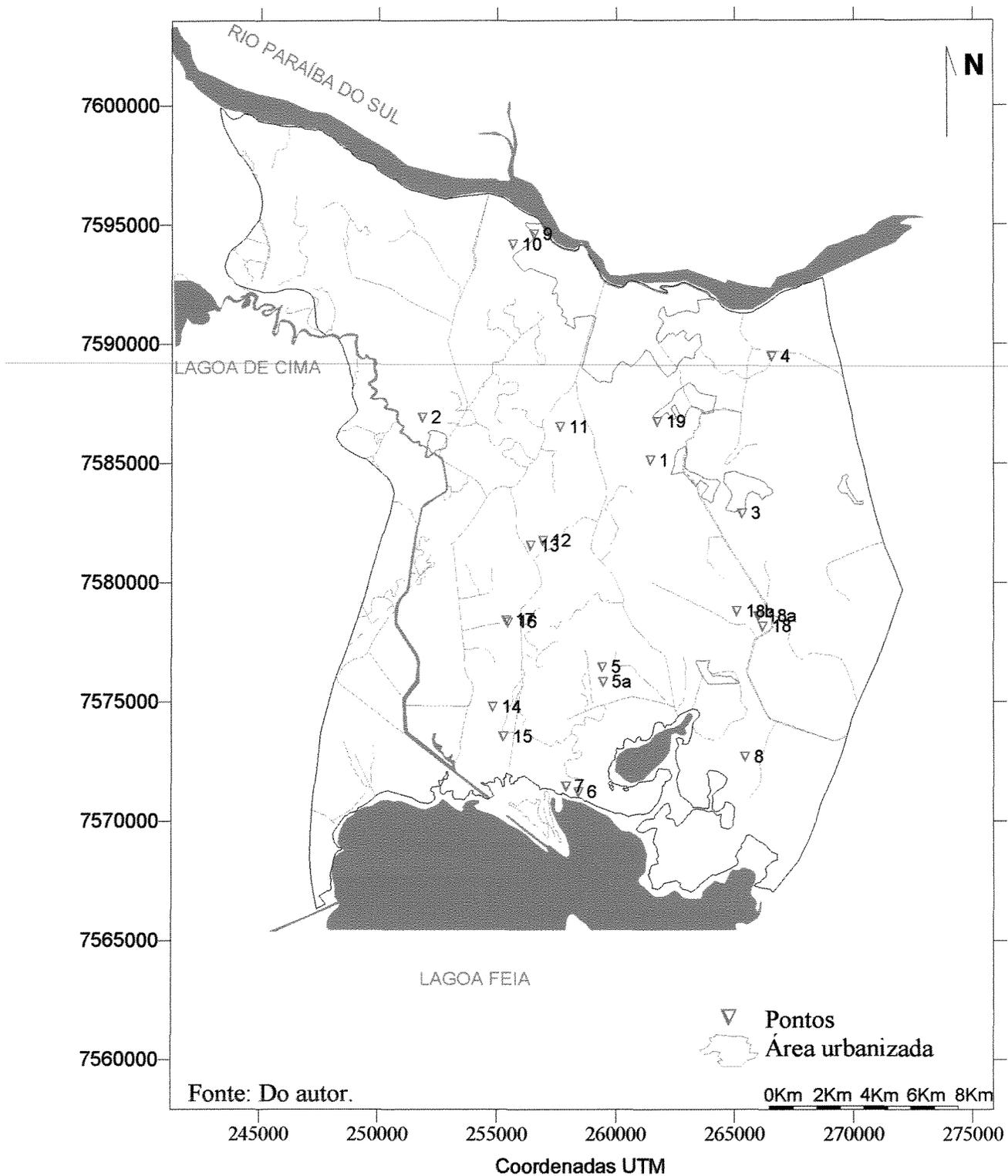


Figura 3.1: Mapa de pontos da campanha de campo, em maio de 2002.

Para a amostragem de água usou-se um amostrador tipo “bailer”, amplamente utilizado em campanhas piezométricas, garrafas em pvc de 500ml devidamente identificadas, água deionizada armazenada num galão de 25 litros e, quando necessário, um balde de 10 litros. O amostrador era introduzido no poço residencial ou no furo de trado quando se atingia o nível freático. No caso dos poços rasos residenciais a água retirada pelo amostrador era imediatamente condicionada nas garrafas, enchendo-as até a boca, sendo, então, tampadas. Durante a amostragem nos furos de trado, apesar de ser utilizado um tubo pvc de 4” ranhurado para revesti-los e filtrá-los, nem sempre se obtinha uma amostra limpa. Nestes casos, utilizou-se o balde como um recipiente para armazenar e decantar os sólidos contidos na amostra. Aí então, condicionava-se a amostra na garrafa, seguindo o procedimento normal. As amostras eram entregues ao laboratório num prazo máximo de 24h. Todos os materiais reutilizados no campo - amostrador, balde e tubo de revestimento - eram lavados com água deionizada e secos com panos limpos, entre um uso e outro.

Os resultados das análises químicas das amostras de água coletadas em residências de colaboradores interessados foram enviados aos mesmos.

3.1.5 Processamento das Amostras de Solo

Durante a etapa de campo foram coletadas amostras de areia nos pontos 3, 12, 16 e 18, a profundidades de 2,80m, 1,60m, 1,00m e 1,20m, respectivamente, de acordo com a representatividade desta amostra com relação à camada que estava sendo perfurada e à geologia indicada no Mapa Geológico do Quaternário Costeiro da Metade Norte do Estado do Rio de Janeiro (MARTIN, *et al.*, 1997). No Laboratório de Paleontologia e Hidrogeologia do Instituto de Geociências da UNICAMP, tais amostras foram levadas à estufa de secagem e esterilização de marca e modelo “FANEM – 315 SE” durante 24 horas, até a sua secagem total. Após isto foram quarteadas, e um quarto de cada amostra foi peneirado individualmente em peneiras vibratórias sobrepostas “PRODUTEST” com aberturas de 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm, 0,062mm e 0,031mm.

Através do uso de balança eletrônica analítica da marca “MARTE”, os pesos obtidos em cada peneira foram utilizados na estimativa das condutividades hidráulicas (K) pelo Método de Hazen (FETTER, 1994) no subitem 4.2.2.3 (Aspectos Sedimentológicos e Hidrodinâmicos).

3.1.6 Caracterização Hidroquímica e Fisico-química

As análises das amostras de água coletadas na etapa anterior foram feitas no laboratório Centro de Análises da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda, determinando os constituintes iônicos principais, além de outros parâmetros, todos citados a seguir: pH, condutividade elétrica, potássio, sódio, cálcio, magnésio, carbonato e bicarbonato, ferro, cloro, sulfato, nitrogênio total e razão de adsorção de sódio (RAS).

Para a visualização espacial das concentrações de ferro, cloreto, nitrogênio total, potássio, sódio, sulfato, condutividade elétrica, pH, e razões iônicas, utilizou-se novamente o programa Surfer 6 da Golden Software na plotagem destes. A caracterização da condutividade elétrica serviu para uma posterior análise da correlação entre os valores encontrados e a presença de sais dissolvidos na água subterrânea.

3.1.7 Avaliação de Parâmetros e Íons Representativamente Anômalos

Os íons e parâmetros analisados foram comparados com os limites estabelecidos como padrões de potabilidade da Organização Mundial da Saúde, Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde e recomendados por CPRM (1997), verificando se apresentaram algum tipo de anomalia ou se encontraram fora destes limites, indicando uma relação entre esses e suas possíveis origens.

Tais origens muitas vezes estão ligadas a atividades humanas, como os canais de condução de vinhaça para fertirrigação (processo de irrigar e fertilizar o solo, usando o efluente da produção de álcool através da cana-de-açúcar) e a própria geração e condicionamento de efluentes domésticos em fossas sépticas em grandes concentrações urbanas.

Para analisar este último tipo de fonte de contaminação, utilizou-se a mesma técnica metodológica usada por SÃO PAULO (1997) durante o trabalho Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, na qual era considerada como produzida, por habitante, uma massa média, por ano, do elemento nitrogênio, na forma NO_3^- , sendo posteriormente classificados os índices das cargas potenciais poluidoras de cada concentração urbana como reduzido, moderado e elevado. Também se tentou “cruzar” os valores de nitrogênio total determinados pelas análises da campanha de 2002 com as concentrações urbanas da área, conforme demonstra o Anexo 5(c).

3.1.8 Caracterização da Potenciometria em maio de 2002

De maneira similar à técnica metodológica do subitem “3.1.3 Tratamento de Dados do PROJIR (1983)”, foi confeccionado um mapa potenciométrico com o propósito de auxiliar no entendimento visual do atual sistema de fluxo da área.

Para a medição dos níveis freáticos durante a campanha de campo utilizou-se um medidor de nível e uma trena manual. Este medidor era inserido no furo de trado ou no poço raso até encontrar o nível freático, quando emitia sinal sonoro. Neste momento marcava-se a extensão inserida e a media imediatamente após sacá-lo do orifício. Cruzando os valores de NA medidos em campo durante a campanha dos dias 03 a 09 de maio de 2002 com valores altimétricos obtidos das plotagens das coordenadas dos pontos amostrados em cartas topográficas da área, produzidas pelo IAA (1983) em escala 1:10.000, originou-se o mapa “Campanha piezométrica em maio de 2002” (Anexo 2). Tal mapa serviria também ao item subsequente.

3.1.9 Análise Comparativa da Situação em 1983 e 2002

Tendo em vista todos os mapas potenciométricos confeccionados, foram avaliadas alterações no que rege o fluxo das águas subterrâneas, fazendo uma análise comparativa das duas situações potenciométricas - campanha do MIC & IAA (1983) X campanha atual (2002) - no item “4.2.2.5 Modelo Conceitual de

Aquífero Proposto, Fluxo Subterrâneo e Condições de Contorno”. Também se comparou o pH, a condutividade elétrica, além das razões iônicas rMg^{+2}/rCa^{+2} , de 1983 para 2002, durante o tópico “4.2.2.6 Hidroquímica e Qualidade”.

4 Resultados – Área de Estudo

4.1 Aspectos Sócio-Econômicos e Ambientais

Desde o início do século XX, podemos observar três grandes fases sócio-econômicas sobre a região de Campos dos Goytacazes, refletindo demandas e tendências tanto nacionais como internacionais. Todas elas engendraram estudos e discussões que enriqueceram a bibliografia a respeito da área, facilitando a atual consulta.

A primeira fase foi a do álcool, caracterizada por grandes investimentos por parte da indústria da cana-de-açúcar, já tradicional produtora de açúcar e seus subprodutos, na região da baixada campista. A região teve seu parque industrial açucareiro modernizado a partir de 1974. Em 1978, a FUNDENOR (Fundação para o Desenvolvimento do Norte-Fluminense) realizou estudos sobre o uso da terra e concluiu que a cana ocupava 220.000ha, cerca de 86% das terras agricultáveis do Norte-Fluminense, seguida pelo arroz, com 26.000ha e outras culturas menos expressivas. A indústria da cana ganhou força no início da década de 80, impulsionada pela política governamental do Pró-Álcool e amparada pelo extinto Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) do Ministério da Indústria e do Comércio. Em 1980, a região norte-fluminense produziu cerca de 9.100.000t de cana-de-açúcar, o que representou 7,5% de toda a produção nacional daquele ano, participação esta que aumentou para 18% dois anos mais tarde. Em meados de 1983, o IAA executou um levantamento com fins agrícolas completo numa área bruta de, aproximadamente, 250.000ha, englobando a região em apreço, diagnosticando a situação das águas superficiais e subterrâneas, solos, clima, geologia/geotecnia, sócio-economia e agronomia, com o propósito de melhor caracterizar a região e subsidiar uma irrigação eficiente das

plantações de cana-de-açúcar. Este levantamento foi amplamente consultado e utilizado durante o presente trabalho.

Outro órgão que vem com frequência desenvolvendo trabalhos de pesquisa na área é o Departamento de Recursos Minerais (DRM), autarquia criada em 1975 e atualmente vinculada à recém-criada Secretaria de Estado de Energia, Indústria Naval e Petróleo (SEINPE).

A segunda fase, perdurando até os dias de hoje, é a da exploração do petróleo, que se iniciou com as investigações de pesquisadores como Williams e Lamego, na Bacia Sedimentar de Campos (CAETANO, 2000), a qual tem sido amplamente estudada por empresas e instituições relacionadas à indústria do petróleo e hoje é responsável por aproximadamente 80% do petróleo produzido no Brasil e movimenta grandes montantes na economia da região e do Estado do Rio de Janeiro.

A terceira fase e também atual é a da preservação do meio ambiente e possui um enfoque muito forte nos recursos hídricos. Este enfoque é condicionado por problemas de escassez de água no norte-fluminense devido ao clima semi-úmido, numa escala regional, e à drenagem inadequada e poluição de corpos hídricos como lagos e lagoas da área em apreço, num sentido mais local, e pelas obras do extinto órgão federal DNOS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca. Tal fase também acompanha uma tendência mundial que adota o modelo do desenvolvimento sustentável, com o propósito de atender às necessidades atuais da coletividade, sem comprometer os recursos naturais necessários para as gerações futuras, que vem causando reflexos (de forma indireta) na consciência da sociedade brasileira e (direta) na legislação ambiental.

Os problemas ambientais mais latentes na região atualmente são:

1) O avanço da ocupação urbana, sobre a baixada campista.

Em bairros sem implantação de sistemas de esgotamento, a preocupação é com a contaminação por fossas sépticas;

2) A situação dos canais de irrigação.

Apesar de existir interesse em reativá-los, em sua grande maioria estão abandonados, tendo sido transformados em canais de lançamento de esgoto *in natura* da área urbana;

3) A fertilização e a fertirrigação de áreas agrícolas.

A necessidade do plantio, de cana-de-açúcar principalmente, acarreta processos que podem comprometer a qualidade de solos e aquíferos freáticos;

4) A poluição dos corpos d'água principais, como o rio Paraíba do Sul e o rio Muriaé. Estes rios vêm recebendo cargas poluentes desde quilômetros a montante, restringindo assim os usos de suas águas;

5) Salinização na área, eutrofização, assoreamento e aterramento da lagoa Feia.

Este caso é muito delicado, pois trata da maior lagoa do Estado do Rio de Janeiro, além de todos os ecossistemas subordinados. Historicamente, o IAA & MIC (1983) já apontavam indícios de salinização nas proximidades desta lagoa. Com o despejo de efluentes domésticos nos canais da baixada campista, a lagoa Feia, como corpo receptor e zona de descarga da baixada campista, se torna mais eutrofizada, sofrendo um aumento de nutrientes dissolvidos em suas águas. A sedimentação do material orgânico somado ao material clástico carregado pelos rios e canais engendra o assoreamento do corpo hídrico, o que diminui a espessura de lâmina d'água e obstrui a entrada de água neste corpo. Para agravar a situação da lagoa Feia, é fato que fazendeiros, no intuito de aumentarem suas propriedades, constroem diques nas margens da lagoa, para facilitar o aterramento destas áreas;

Quanto à geologia, a existência de uma quebra de relevo ocasionada pela transgressão que originou as falésias da Formação Barreiras produziu um tipo de armadilha para os sedimentos trazidos pelas transgressões subseqüentes, servindo como local preferencial para deposição de ilhas de barreiras.

Pode-se caracterizar o Quaternário Deltaico como um conjunto de ambientes sedimentares associados às diferentes fases do rio Paraíba do Sul. SILVA (1987) relata feições como barras de pontal, meandros abandonados e *crevasses*, relacionadas a paleocanais - também demonstrados em MARTIN, *et al.* (1997) - que desembocavam na lagoa Feia e formavam deltas intralagunares descritos na região de Ponta Grossa dos Fidalgos e na desembocadura do rio Ururaí. Tais deltas contribuem para o assoreamento da lagoa que, juntamente com barramentos artificiais feitos por proprietários de terra locais, no intuito de aumentarem suas áreas de plantio e pastagem, vêm produzindo uma redução da área da lagoa Feia, conforme alertam estudiosos como SOFIATTI (informação verbal, 2001).

É fato que, após as intervenções do DNOS nos canais da região, retificando leitos e até criando novas drenagens na baixada campista, a carga de sedimentos aportada no sistema deposicional da lagoa Feia aumentou sensivelmente, acelerando este processo de assoreamento.

Segundo LAMEGO (1955), a lagoa Feia é o “*testemunho de uma vasta paleolaguna resultante do afogamento parcial da planície costeira durante a transgressão Flandriana*”, cujo máximo se deu há 5.100 anos antes do presente.

No lado oeste da lagoa Feia foram descritos cordões arenosos formados da base para o topo por lamas lagunares, com conchas, passando a lamas de mangue, com restos vegetais, lamas continentais bioturbadas, sem carapaças. Sobre estas, há areias muito finas a médias que, segundo SILVA (1987), são resultado do retrabalhamento do material do fundo da lagoa. Este autor ainda descreve uma seqüência de mangue em todas as suas sondagens executadas a norte da lagoa Feia.

4.2 Hidrogeologia

4.2.1 Caracterização Regional

Na porção continental da Bacia de Campos, onde se encontra a área em apreço, foram definidos 4 sistemas aquíferos por CAETANO (2000), os quais podem ser visualizados na Figura 4.1: Delimitação aproximada dos aquíferos da região de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco do Itabapoana.

Os quatro sistemas são citados a seguir:

O Aquífero Fraturado, formado por rochas pré-cambrianas, apresentando baixo potencial, com capacidade específica variando de 0,021 a 1,53m³/h/m e valores médios de vazão de 5,73m³/h;

O Aquífero Formação Barreiras, com características de não confinado a confinado, formado por sedimentos clásticos afossilíferos cenozóicos continentais indiferenciados, permeáveis. Apresenta valores de transmissividade médios entre 110,18 e 222,52m²/dia, produtividade média de 1,09 a 2,45m³/h/m e valores médios de vazão entre 34,55 e 47,17m³/h;

O Aquífero Formação Emborê, confinado, é constituído por intercalações de arenito e folhelho (ou argilito), com caráter multi-camada e transmissividade de 191,40m²/dia; e produtividade em torno de 3,5m³/h/m e vazão média de 70,93m³/h;

O Aquífero Quaternário Deltaico (AQD), formado por solos residuais, areias, cascalhos, argilas e siltes, atingindo até 120m de espessura. Neste sistema, CAETANO (2000) encontrou elevada transmissividade média (8.193,00m²/dia) e vazão média de 139,67m³/h.

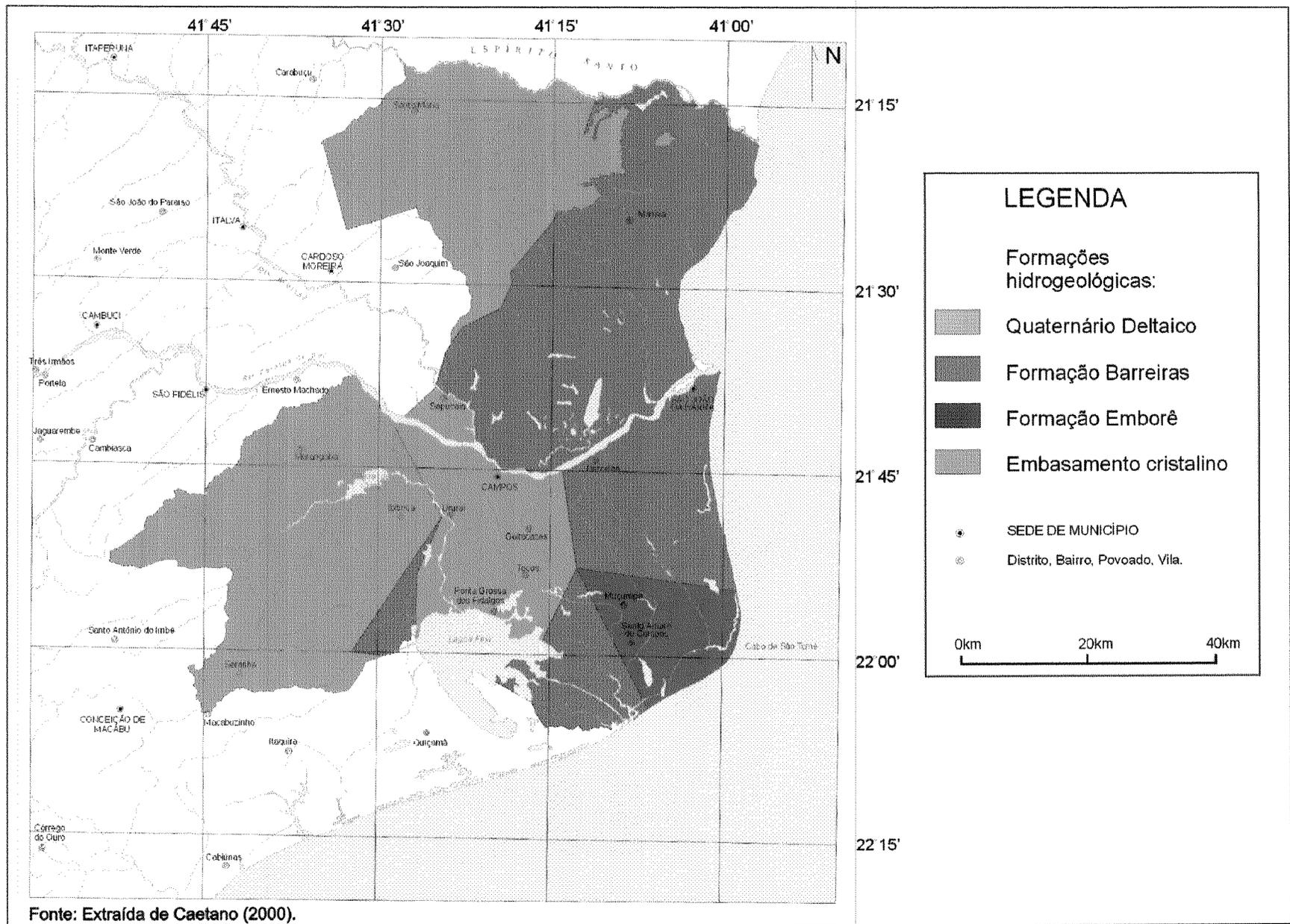


Figura 4.1: Delimitação aproximada dos aquíferos da região de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco do Itabapoana.

4.2.2 Aquífero Quaternário Deltaico (AQD)

O AQD situa-se na baixada campista, possui 440km² de área, dos quais cerca de 20km² estão ocupados demograficamente. É limitado a norte pelo rio Paraíba do Sul, a noroeste pelo embasamento cristalino aflorante, a leste pelas Formações Barreiras e Emborê, e a sul, pela lagoa Feia. Caracteriza-se como um aquífero livre, num pacote sedimentar constituído por intercalações de lentes de areia e argila, apresentando espessuras médias com cerca de 60 metros, podendo chegar a 120 metros. Sua recarga provém do rio Paraíba do Sul e sua descarga ocorre na região da lagoa Feia, caracterizando um fluxo subterrâneo de direção e sentido gerais NNW - SSE.

Com base na bibliografia estudada e nos trabalhos realizados durante a presente pesquisa, caracterizou-se o Aquífero Quaternário Deltaico com relação à geometria, ao fluxo subterrâneo, condições de contorno e aspectos hidrodinâmicos, expondo o modelo hidrogeológico proposto para o referido aquífero. Os aspectos hidroquímicos, fisico-químicos, também foram contemplados, como é mostrado nos itens subseqüentes.

4.2.2.1 Cadastro de Poços no AQD

Em 2000, Caetano cadastrou os poços deste aquífero, apresentando a descrição da localização e situação dos poços. Tal cadastro aparece em forma de tabela (Tabela 4.1), a seguir, como um resultado de pesquisa bibliográfica. Nesta tabela, estão inclusas as localizações dos poços cujas descrições geológicas deram origem às seções do item subseqüente.

Consultando a Tabela 4.1, é possível notar que muitos dos poços foram construídos para atender às usinas de processamento da cana-de-açúcar da região. Hoje, grande parte dessas usinas não funciona mais e não se sabe se os poços referidos foram lacrados ou simplesmente abandonados. Vale lembrar que poços abandonados são pontos vulneráveis, pois podem ser canais de entrada de contaminação no aquífero.

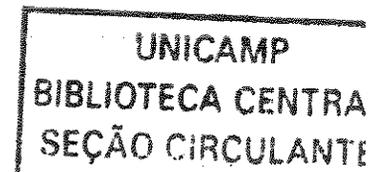


TABELA 4.1
POÇOS CADASTRADOS NO AQUÍFERO QUATERNÁRIO DELTAICO ATÉ 2000

Poço	UTME	UTMS	Local	Proprietário	Ano de Construção	Situação
01-CAM	262000	7588950	Usina Sto. Antônio	Cia. Agr. Sto. Antônio	1963	nd
02-CAM	262000	7588950	Usina Sto. Antônio	Usina St. Antônio	1969	Equipado/nd
03-GOY	264090	7584650	Goytacazes	Águas do Paraíba	1980	Abandonado
04-URU	252400	7585900	Pça. Maurice Allain	Águas do Paraíba	1960	Abandonado
05-TOC	263600	7576600	Tocos	Águas do Paraíba	1966	Abandonado
06-TOC	263600	7576600	Tocos	Águas do Paraíba	1966	Abandonado
07-TOC	264000	7576300	Tocos	Usina Paraíso	1969	Abandonado
08-URU	253400	7588900	Atlantic-Pool	Atlantic-Pool	nd	nd
09-GOY	262700	7589300	Prq. Bela Vista	Planalsucar	1977	Equipado/nd
10-RAI	263600	7591450	Vila Rainha	Grupo Othon	1980	Abandonado
11-QUE	258000	7591250	Usina Queimado	Usina Queimado	nd	Abandonado
12-QUE	258000	7591250	Usina Queimado	Usina Queimado	nd	Abandonado
13-QUE	258000	7591250	Usina Queimado	Usina Queimado	nd	Abandonado
15-QUE	258000	7591250	Usina Queimado	Usina Queimado	nd	Abandonado
16-QUE	258000	7591250	Usina Queimado	Usina Queimado	nd	Abandonado
17-QUE	258000	7591250	Usina Queimado	Usina Queimado	nd	Abandonado
18-QUE	258000	7591250	Usina Queimado	Usina Queimado	nd	Abandonado
19-QUE	258000	7591250	Usina Queimado	Usina Queimado	nd	Abandonado
20-CAM	261200	7592350	Av. Ruy Barbosa	Indústria Química	1965	Abandonado
22-CAM	261100	7592250	Indústria Química	Indústria Química	1965	Abandonado
24-PGF	258500	7571500	Ponta Grossa dos Fidalgos	Águas do Paraíba	1977	Abandonado
25-GOY	264700	7584650	Usina S. José	Usina S. José	nd	Abandonado
26-GOY	264700	7584600	Usina S. José	Usina S. José	nd	Abandonado
27-URU	252600	7586400	Conj. Habitacional Fazenda Cupim	Jumar Construções	1980	Não Equipado
28-URU	252750	7585850	Conj. Habitacional Fazenda Cupim	Jumar Construções	1980	Não Equipado
29-ANA	262650	7585950	Donana	Águas do Paraíba	1993	Produzindo
30-URU	252100	7586600	Usina Cupim		1985	Abandonado
31-BEC	262250	7588950	Sto. Antônio	Águas do Paraíba	1988	Produzindo
32-ANA	262600	7585950	Donana	Águas do Paraíba	1981	Produzindo
33-ANA	262550	7585950	Donana	Águas do Paraíba	1986	Produzindo
34-CAM	258250	7591650	Usina do Queimado	Usina do Queimado	1992	Abandonado
38-TOC	261150	7578700	Tocos	Águas do Paraíba	1985	Abandonado
42-CAM	259600	7592000	Centro de Campos	Irmãos Rangel Roupas	1995	nd

nd – dado não disponível

Fonte: CEDAE (1980) e CAETANO (2000).

4.2.2.2 Geometria

A partir da análise dos perfis geológicos existentes nos dados de poços perfurados na área, foram traçadas duas novas seções - SW-NE (Figura 4.2) e W-E (Figura 4.3) - na área, reanalisando os segmentos das seções K-K' e L-L' confeccionadas por CAETANO (2000) que abrangem o Aquífero Quaternário Deltaico, sendo denominados neste trabalho como Seção NW-SE (Figura 4.4) e Seção N-S (Figura 4.5), respectivamente conforme se segue.

Seção SW-NE

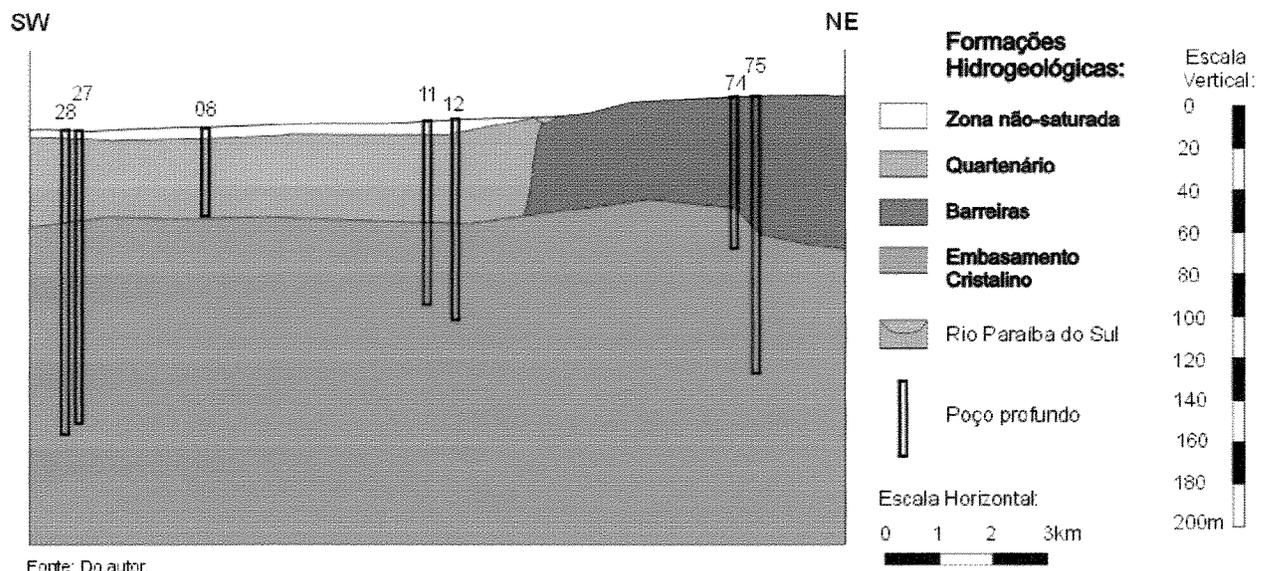


Figura 4.2: Seção SW-NE, do AQD ao Aquífero Barreiras.

Seção W-E

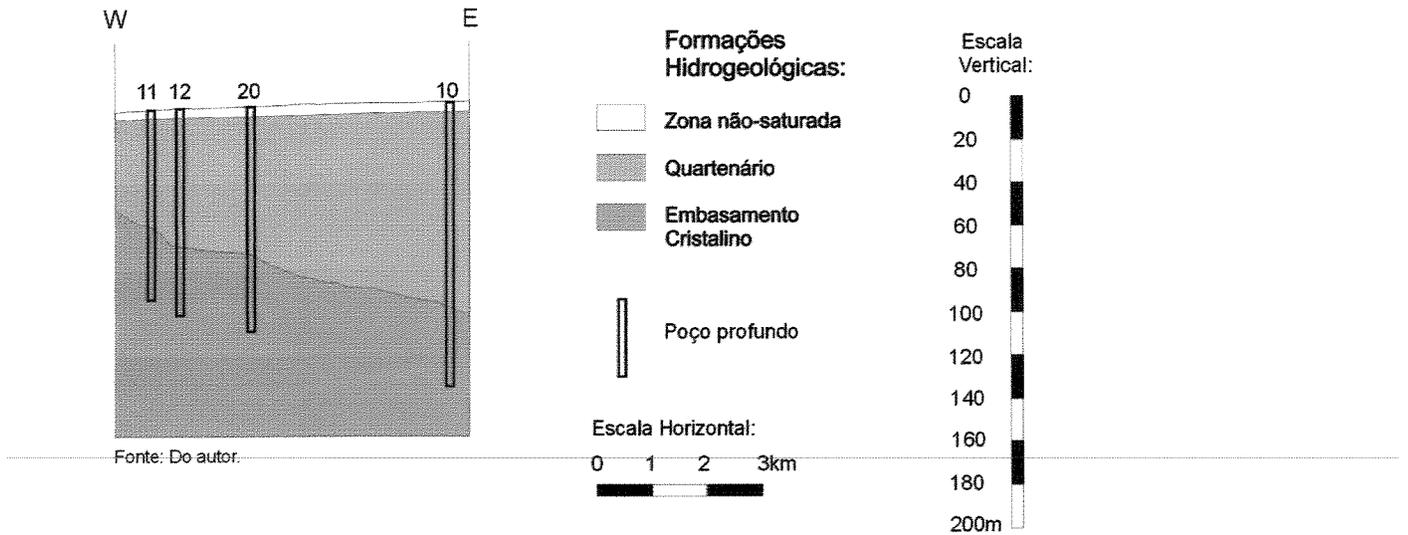


Figura 4.3: Seção W-E, formada pelos dados dos poços 10, 11, 12 e 20.

Seção NW-SE

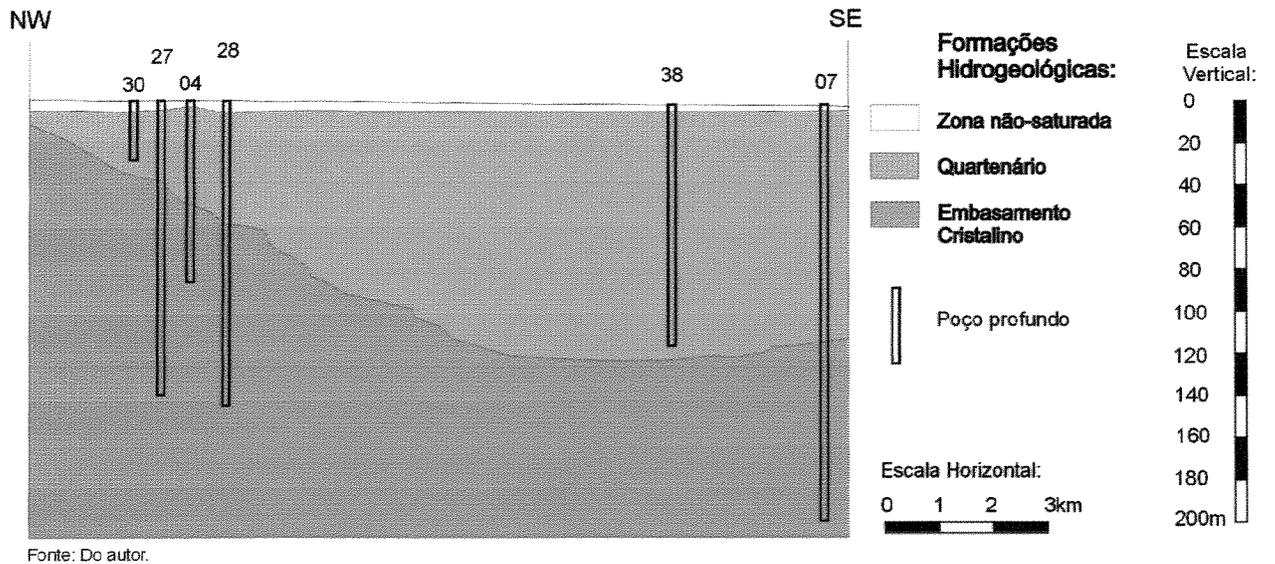


Figura 4.4: Seção NW-SE.

Seção N-S

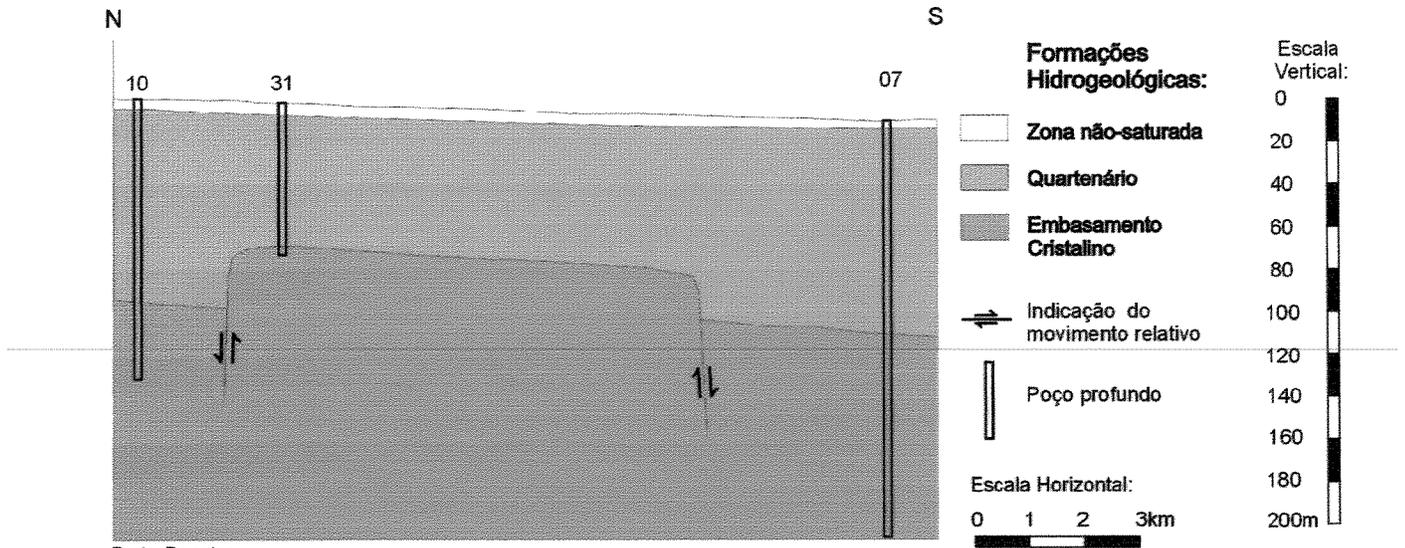
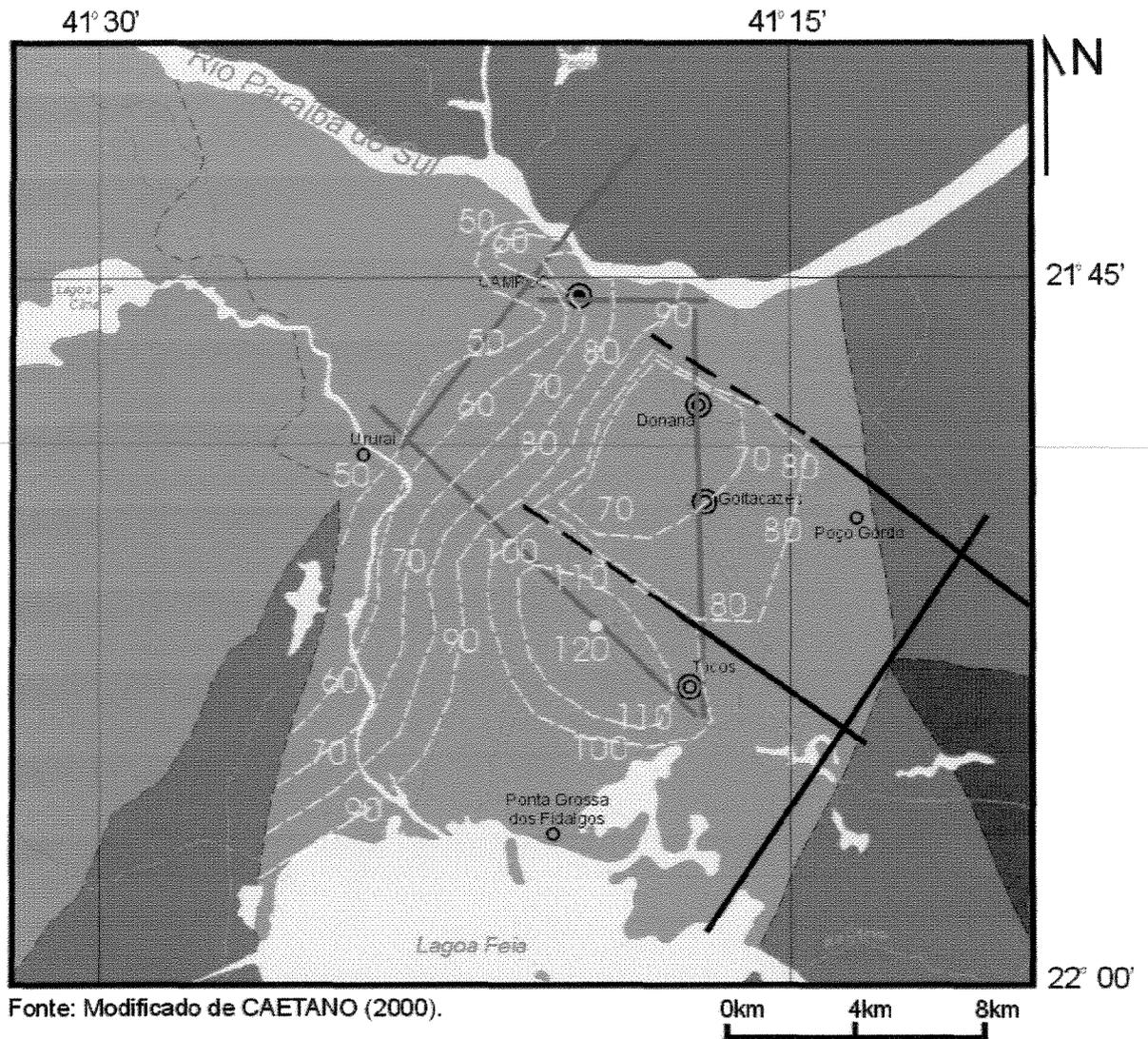


Figura 4.5: A seção N-S demonstra um alto estrutural no embasamento.

Os dados levantados em trabalhos sobre a área (principalmente, PETROBRÁS, 1960, e PETROBRÁS, 1987), permitiram, juntamente com a interpretação da descrição dos poços, inferir a localização de possíveis falhas e, em muitos casos, a espessura da camada sedimentar. As falhas com direção SW-NE são bem delineadas no Mapa de Sombras Magnéticas.

As seções contribuíram para a inferência do topo do embasamento cristalino, como demonstra o mapa a seguir.

Mapa de Inferência do Topo do Embasamento Cristalino



LEGENDA

Formações hidrogeológicas:	
	Quaternário
	Fm. Barreiras
	Fm. Emborê
	Embasamento cristalino
	Seções
	Falhas geológicas
	Inferência de falhas
	Inferência do topo do embasamento
	Cota negativa em m com datum no nível do mar

Figura 4.6: Mapa de inferência do topo do embasamento cristalino.

A padronagem, as cores e tonalidades aplicadas nas seções acima, assim como no Mapa de inferência do topo do embasamento cristalino, foram baseadas no Mapa Hidrogeológico da América do Sul (DNPM, 1996) e no Mapa Geológico do Quaternário Costeiro da Metade Norte do Estado do Rio de Janeiro (MARTIN, *et. al.*, 1997).

A área em apreço apresenta um *set* principal de estruturas, com direção NE-SW, e outro secundário NW-SE. Estas estruturas, geralmente falhamentos normais, produziram um topo de embasamento dotado de *horsts* e *grabens*, o qual condicionou a direção do fluxo do rio Paraíba do Sul e a sedimentação no Quaternário Deltaico. Dentro da área, o embasamento apresenta-se subaflorante a NW, atingindo sua maior profundidade (120 m) na porção centro-sul, próximo à lagoa Feia. Do litoral para o oceano, as profundidades aumentam consideravelmente, de centenas a poucos milhares de metros.

Como características principais da geometria do Aquífero Quaternário Deltaico, é possível ressaltar que:

- A espessura do pacote sedimentar aumenta de NW para SE, como fica evidenciado no Mapa de Inferência do Topo do Embasamento Cristalino e na Seção NW-SE, devido à própria inclinação do bloco e das estruturas tectônicas (falhas normais) que abaúlam o substrato rochoso;
- O padrão estrutural das falhas existentes influi diretamente na geometria do topo do cristalino, podendo, essas falhas, se estender pelo pacote sedimentar;
- Foi confirmada a presença de um alto estrutural dentro da área de estudo. O aquífero é compartimentado em dois blocos menores na porção sudeste, que tiveram movimentações e sedimentações posteriores diferenciadas;
- A partir da Seção N-S é possível medir o rejeito inferido de duas falhas que cortam o Aquífero Quaternário Deltaico e formam o alto estrutural na área de estudo. O rejeito vertical inferido está em torno de 30m;

4.2.2.3 Aspectos Sedimentológicos e Hidrodinâmicos

Foram feitas na área 12 sondagens a trado em 4", com profundidades variando de 1,18 a 4,00m, até se atingir o aquífero freático. Durante as sondagens, foram amostrados níveis de areia representativos. Os sedimentos coletados serviram para a estimativa da condutividade hidráulica pelo Método de Hazen (FETTER, 1994). Este método utiliza a curva de distribuição granulométrica e é aplicável a areias que possuam tamanho efetivo de grão entre 0,1 e 0,3mm.

Segundo o Método de Hazen, a condutividade hidráulica é expressa por:

$$K = C (d_{10})^2 \quad (\text{Equação 4.1 – Extraída de FETTER, 1994})$$

onde:

K é a condutividade hidráulica (cm/s)

d_{10} é o tamanho efetivo do grão (cm), representado pelo cruzamento da curva de distribuição granulométrica com 90% da porcentagem peso acumulada de grossos ou, inversamente, com 10% da porcentagem peso acumulada de finos.

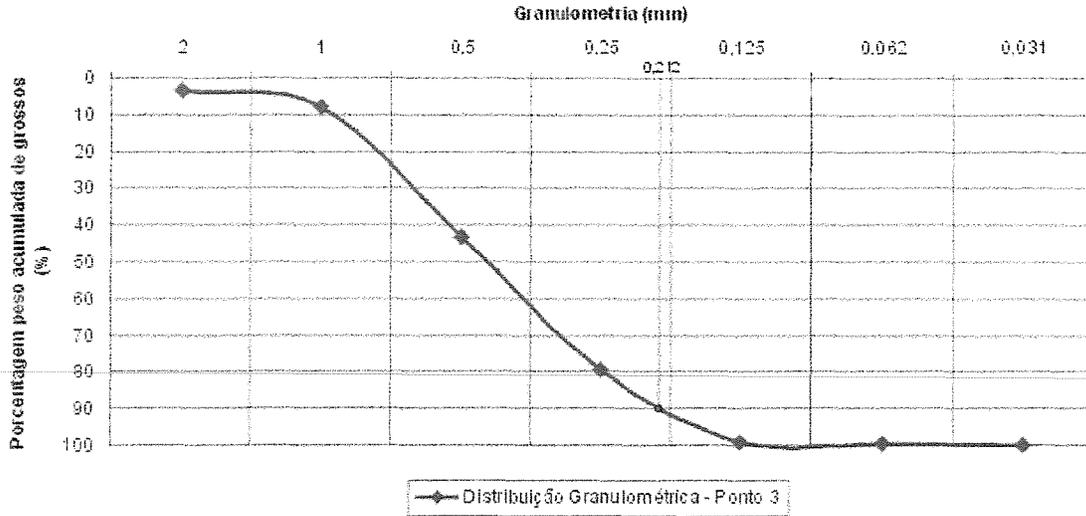
C é um coeficiente baseado na seguinte classificação:

Areia muito fina, mal selecionada	40 – 80
Areia fina com finos consideráveis	40 – 80
Areia média, bem selecionada	80 – 120
Areia grossa, mal selecionada	80 – 120
Areia grossa, bem selecionada, limpa	120 – 150

A seguir é demonstrada a aplicação do Método de Hazen para os pontos 3, 12, 16 e 18:

- **Ponto 3**

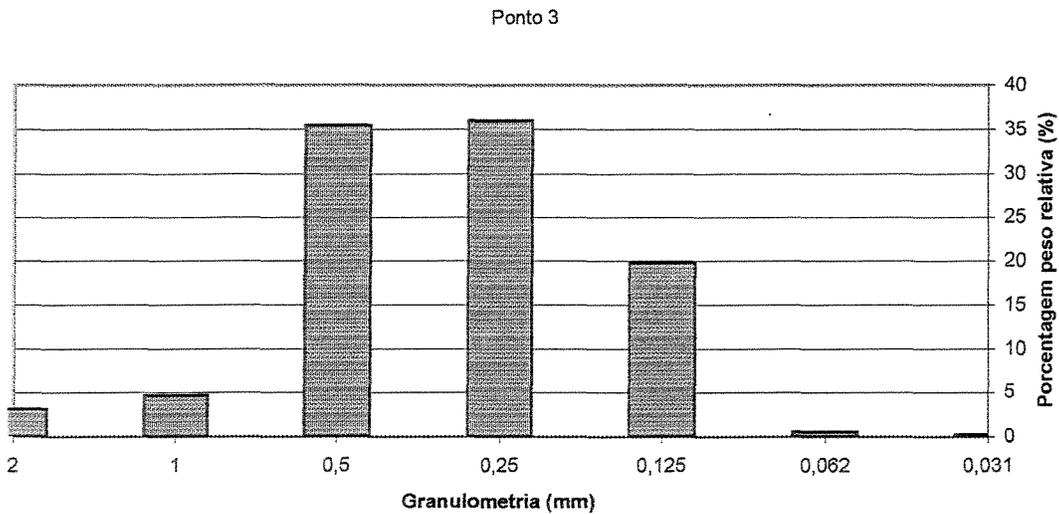
A amostra deste ponto foi coletada a uma profundidade de 2,80m.



Fonte: Do autor.

Gráfico 4.1: Curva da distribuição granulométrica (mm) no ponto 3.

Segundo a curva da distribuição granulométrica acima, o valor de d_{10} é 0,212mm ou 0,0212cm.



Fonte: Do autor.

Gráfico 4.2: Gráfico de colunas da distribuição granulométrica (mm) no ponto 3.

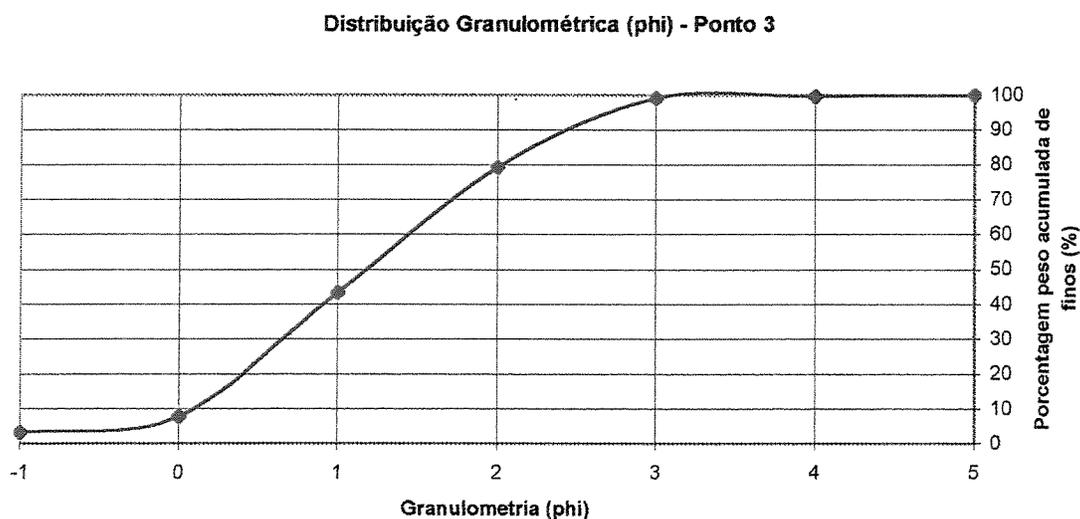
Conforme o gráfico de colunas, esta é uma areia de granulometria média a grossa, com grãos concentrados principalmente nas faixas granulométricas de 0,25 a 0,5mm e 0,5 a 1,0mm, respectivamente.

Para determinar a seleção das amostras utilizou-se o Método de Folk & Ward, *in* TUCKER (2001), que avalia a distribuição granulométrica em ϕ conforme a equação e a classificação a seguir:

$$\sigma\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \quad (\text{Equação 4.2 - Extraída de TUCKER, 2001})$$

ϕ menor que 0,35	muito bem selecionada
0,35 – 0,50	bem selecionada
0,50 – 0,71	moderadamente bem selecionada
0,71 – 1,00	moderadamente selecionada
1,00 – 2,00	pobremente selecionada
ϕ maior que 2,00	muito pobremente selecionada

Para aplicar este método, foi confeccionado outro gráfico de distribuição granulométrica, em unidade de ϕ .



Fonte: Do autor.

Gráfico 4.3: Curva da distribuição granulométrica (ϕ) no ponto 3.

Deste, obtem-se que:

$$\phi_5 = -0,1$$

$$\phi_{16} = 0,3$$

$$\phi_{84} = 2,2$$

$$\phi_{95} = 2,8$$

Aplicando na equação 4.2, tem-se $\sigma\phi = 0,91$, ou seja, a amostra é uma areia média a grossa, moderadamente selecionada. Por estas características, foi adotado o valor 100 como o coeficiente C para este ponto.

Aplicando o Método de Hazen para o Ponto 3:

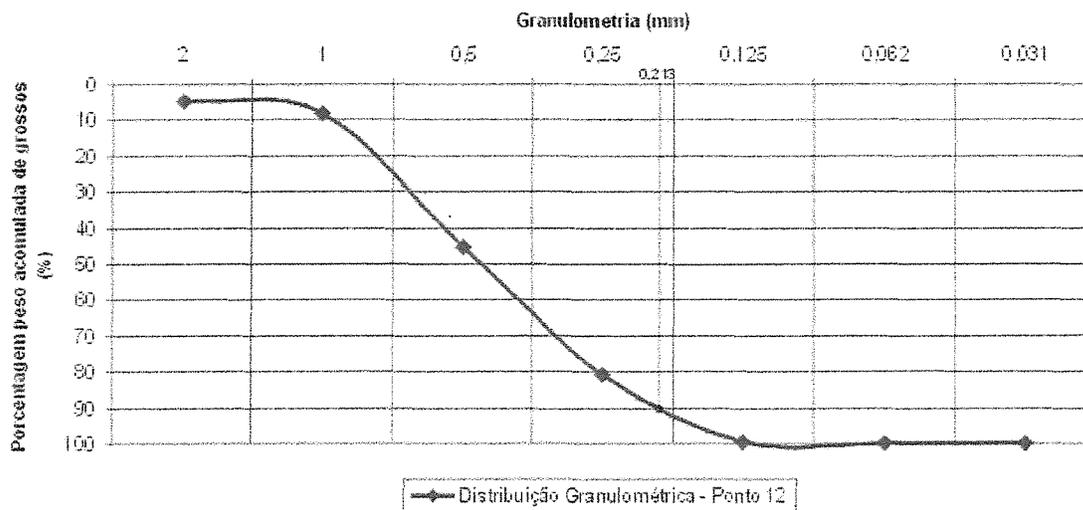
$$K = 100 (0,0212)^2$$

$$K = 100 (0,00045)$$

$$K = 0,045\text{cm/s}$$

- **Ponto 12**

Esta amostra foi coletada a 1,56m de profundidade.

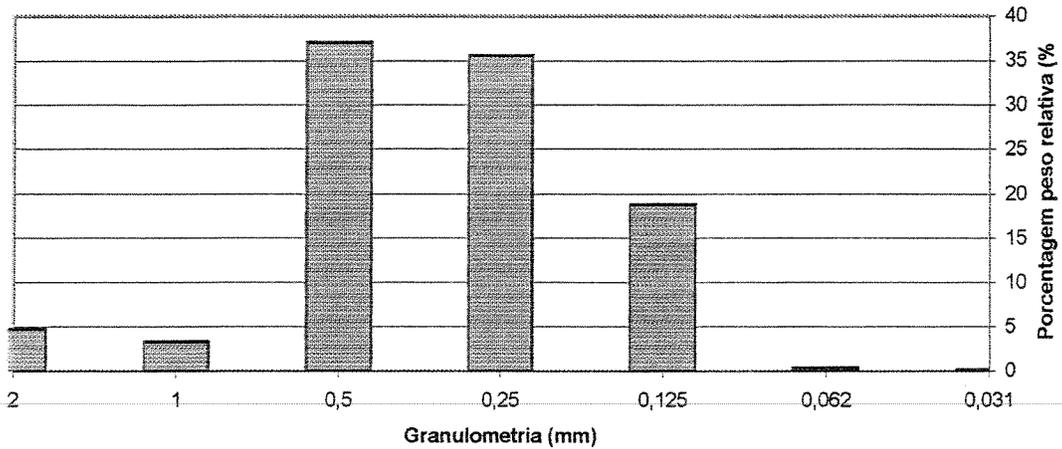


Fonte: Do autor.

Gráfico 4.4: Curva da distribuição granulométrica (mm) no ponto 12.

Segundo a curva acima, o valor de d_{10} é 0,213mm ou 0,0213cm.

Ponto 12



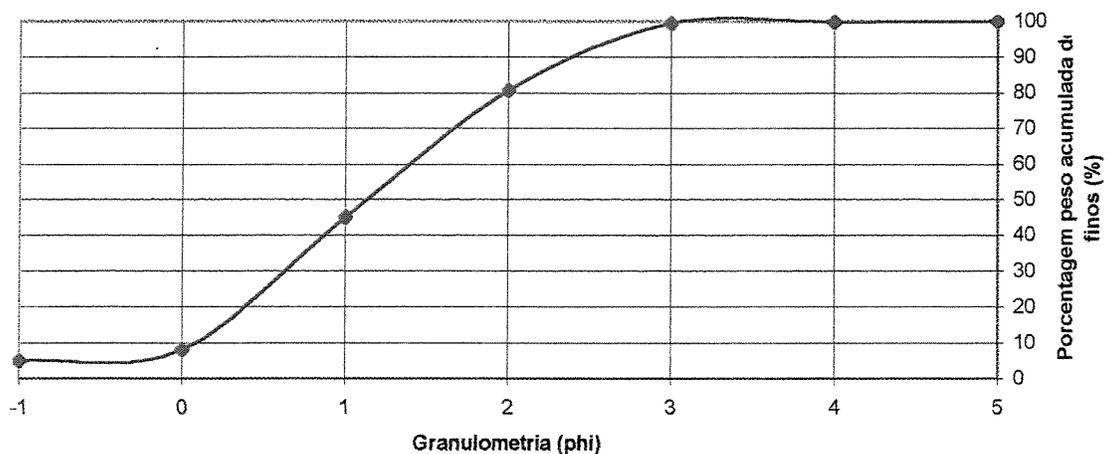
Fonte: Do autor.

Gráfico 4.5: Gráfico de colunas da distribuição granulométrica (mm) no ponto 12.

Esta areia apresenta uma granulometria grossa a média, com grãos concentrados principalmente nas faixas granulométricas de 0,5 a 1,0mm e 0,25 a 0,5mm, respectivamente.

Calculando a seleção, tem-se:

Distribuição Granulométrica (ϕ) - Ponto 12



Fonte: Do autor.

Gráfico 4.6: Curva da distribuição granulométrica (ϕ) no ponto 12.

Deste, obtem-se que:

$$\phi_5 = -0,3$$

$$\phi_{16} = 0,3$$

$$\phi_{84} = 2,2$$

$$\phi_{95} = 2,6$$

Aplicando a equação 4.2, tem-se $\sigma\phi = 0,91$, ou seja, a amostra do ponto 12 é uma areia grossa a média, moderadamente selecionada. Como no ponto anterior, foi adotado o valor 100 como o coeficiente C para este ponto.

Para o Ponto 12:

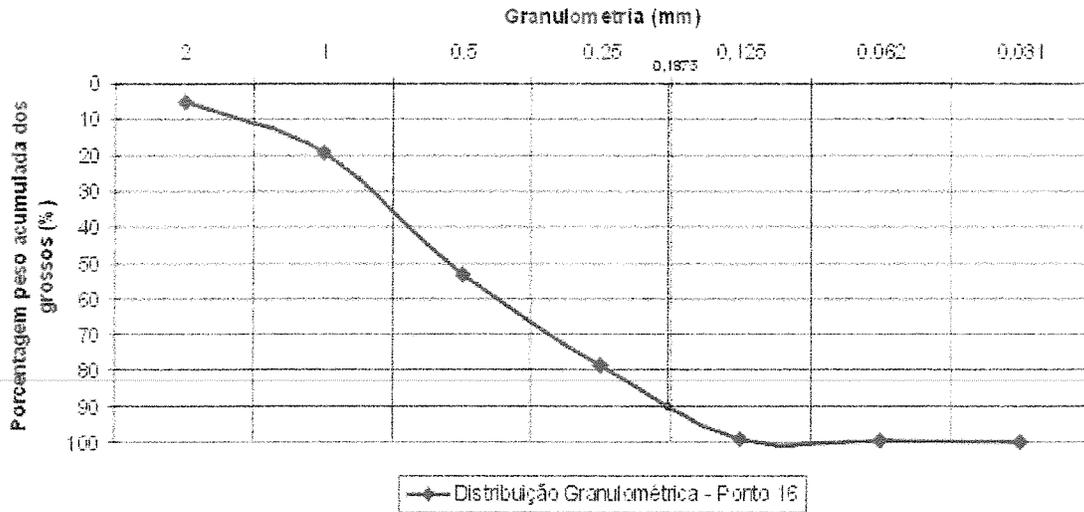
$$K = 100 (0,0213)^2$$

$$K = 100 (0,00045)$$

$$K = 0,045\text{cm/s}$$

- **Ponto 16**

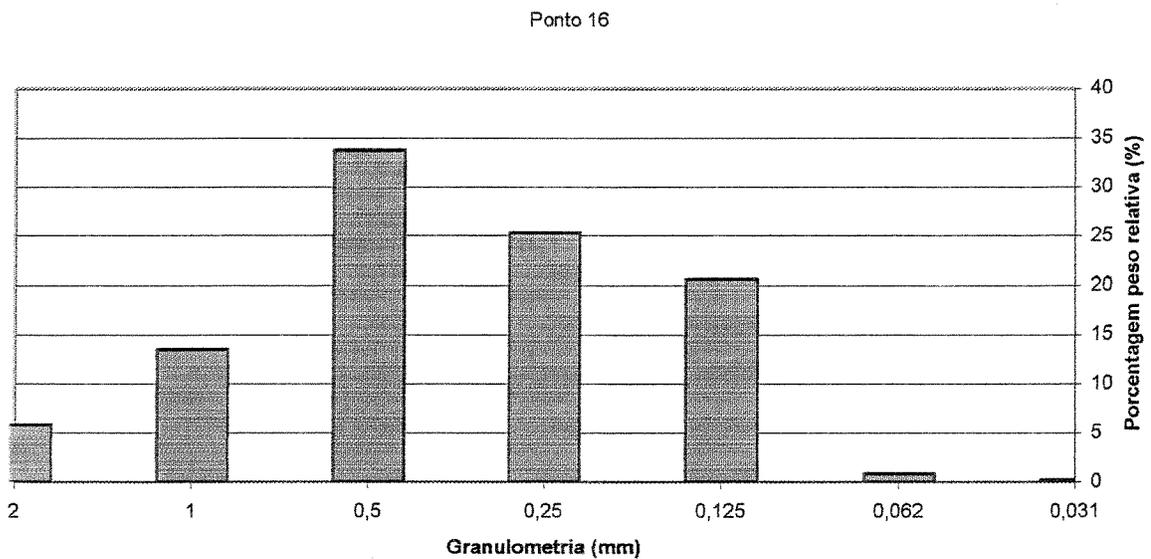
A amostra deste ponto foi coletada a 1,00m de profundidade.



Fonte: Do autor.

Gráfico 4.7: Curva da distribuição granulométrica (mm) no ponto 16.

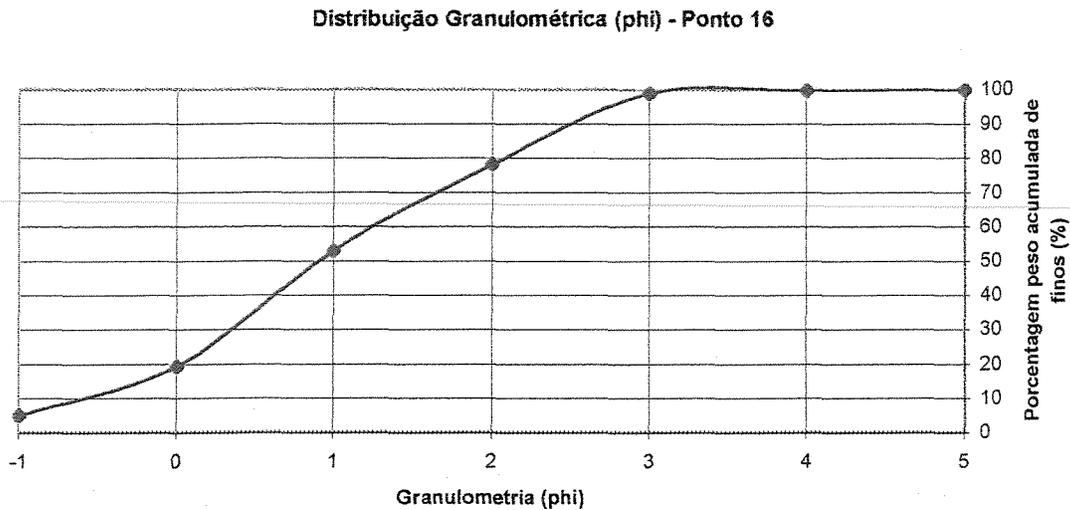
No ponto 16, foi obtido um valor de 0,1875mm ou 0,01875cm para d_{10} .



Fonte: Do autor.

Gráfico 4.8: Gráfico de colunas da distribuição granulométrica (mm) no ponto 16.

Conforme o gráfico anterior, esta areia possui granulometria predominantemente grossa.



Fonte: Do autor.

Gráfico 4.9: Curva da distribuição granulométrica (ϕ) no ponto 16.

Deste, chega-se a:

$$\phi_5 = -1,0$$

$$\phi_{16} = -0,2$$

$$\phi_{84} = 2,2$$

$$\phi_{95} = 2,7$$

Aplicando na equação 4.2, tem-se $\sigma\phi = 1,16$, ou seja, a amostra é uma areia grossa, e pobremente selecionada. Para este ponto, foi adotado o valor 120 como o coeficiente C .

No Ponto 16:

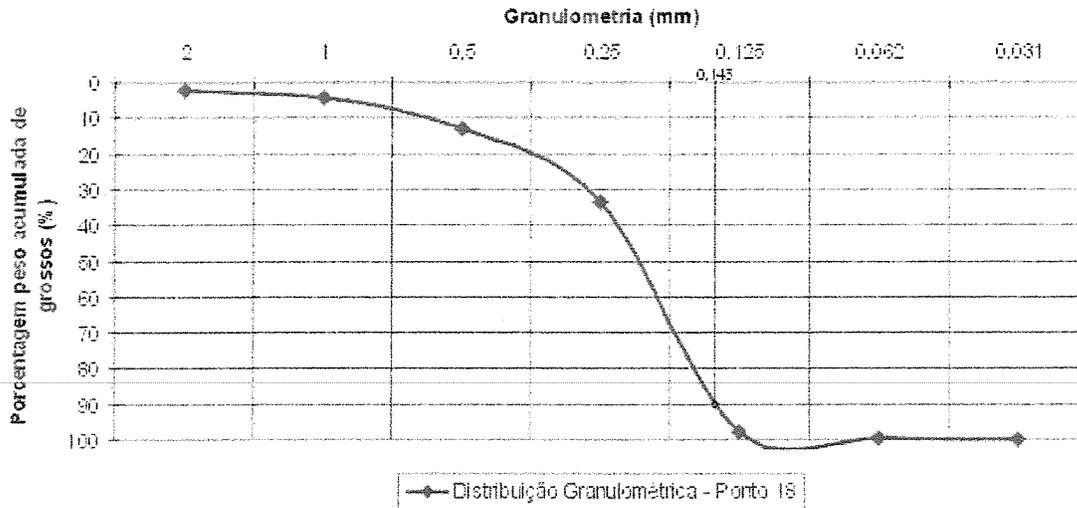
$$K = 120 (0,01875)^2$$

$$K = 120 (0,00035)$$

$$K = 0,042 \text{ cm/s}$$

• **Ponto 18**

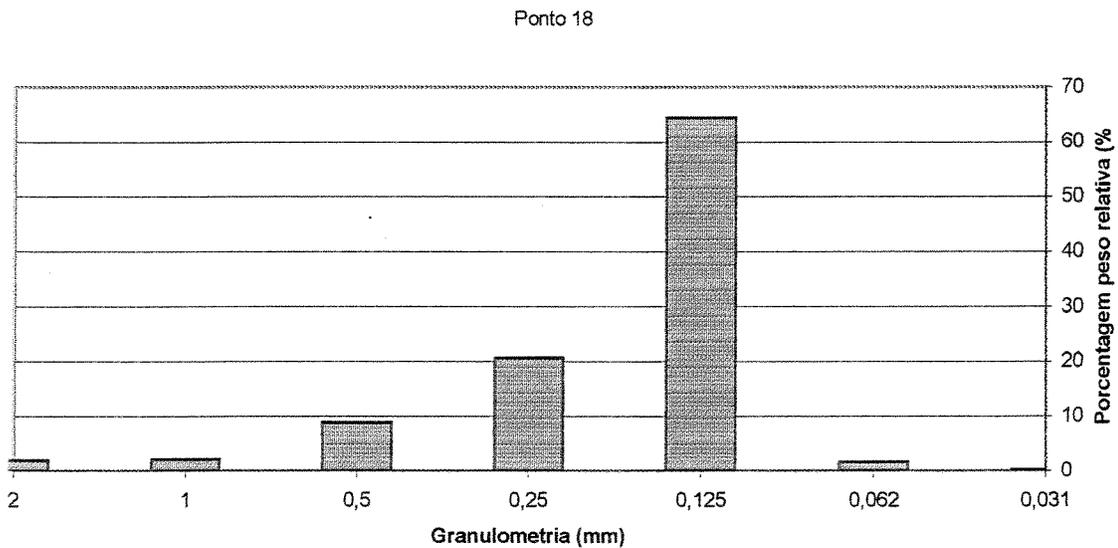
Esta amostra foi coletada a uma profundidade de 1,20m.



Fonte: Do autor.

Gráfico 4.10: Curva da distribuição granulométrica (mm) no ponto 18.

Para este ponto, foi obtido 0,145mm ou 0,0145cm para d_{10} .



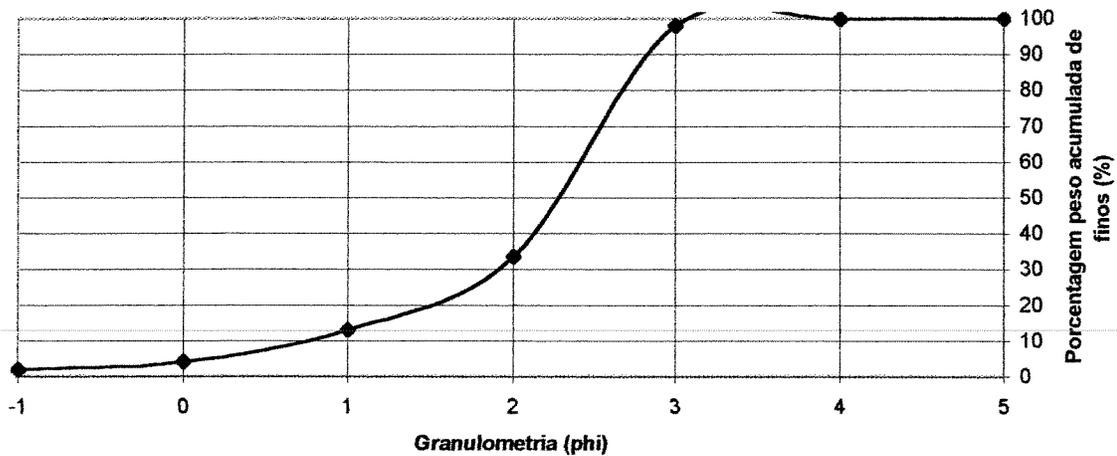
Fonte: Do autor.

Gráfico 4.11: Gráfico de colunas da distribuição granulométrica (mm) no ponto 18.

Neste ponto, a areia possui granulometria fina, concentrada principalmente na faixa granulométrica de 0,25 a 0,125mm.

Calculando a seleção, tem-se:

Distribuição Granulométrica (phi) - Ponto 18



Fonte: Do autor.

Gráfico 4.12: Curva da distribuição granulométrica (ϕ) no ponto 18.

Deste, obtem-se:

$$\phi_5 = 0,1$$

$$\phi_{16} = 1,2$$

$$\phi_{84} = 2,8$$

$$\phi_{95} = 2,9$$

Aplicando a equação 4.2, tem-se $\sigma\phi = 0,82$, ou seja, a amostra é uma areia fina, e moderadamente selecionada. O valor adotado para o coeficiente C deste ponto foi de 60.

Para o ponto 18:

$$K = 60 (0,0145)^2$$

$$K = 60 (0,00021)$$

$$K = 0,012\text{cm/s}$$

Condutividade Hidráulica média (K_m)

Usando a transmissividade média (T_m) de 8.193,00m²/dia, determinada em CAETANO (2000) ao utilizar apenas os valores dos poços 29, 32 e 33, e uma espessura média (b_m) estimada para o pacote sedimentar de 60m é possível se chegar a um valor de K médio.

Sabendo que $T = K.b$, logo:

$$K_m = \frac{T_m}{b_m} \quad (\text{Equação 4.3 – Extraída de CPRM, 1997})$$

Aplicando os valores, chega-se a:

$$K_m = \frac{8.193,00\text{m}^2/\text{dia}}{60\text{m}} = 136,55\text{m}/\text{dia}$$

Transformando m/dia para cm/s, obtem-se $K_m = 0,16\text{cm}/\text{s}$.

A princípio, o objetivo foi de estimar um valor médio de condutividade hidráulica para o Aquífero Quaternário Deltaico, porém, quando comparado aos valores obtidos pelo método de Hazen, o valor encontrado mostra-se de três a doze vezes maior do que estes (pontos 3, 12, 16 e 18; condutividades hidráulicas iguais a: 0,045; 0,045; 0,042; e 0,012cm/s, respectivamente). Isto demonstra que, apesar do AQD ser considerado um aquífero homogêneo, ocorre uma faixa anômala na região dos poços 29, 32 e 33, com condutividades hidráulicas bem acima do padrão da área.

4.2.2.4 Produtividade em Poços Tubulares Profundos

Para melhor entender a diferença de condutividades hidráulicas, exposta anteriormente, a Tabela 4.2 foi compilada e modificada de CAETANO (2000).

TABELA 4.2
ASPECTOS HIDRODINÂMICOS DOS POÇOS NO AQD

Poço	Prof.	Cota	NE	Cota NE	ND	Vazão	Rebaixamento	Cap. Espec.	Transmissividade
01-CAM	45,00	13,00	5,60	7,40	6,40	29,00	0,80	36,25	nd
02-CAM	70,00	13,00	5,00	8,00	5,80	30,00	0,80	37,50	nd
03-GOY	100,00	9,50	5,23	4,27	6,81	220,00	1,58	139,24	nd
04-URU	85,50	10,00	1,50	8,50	13,20	21,00	11,70	1,79	nd
05-TOC	115,00	6,00	3,00	3,00	70,00	3,00	67,00	0,04	nd
06-TOC	45,00	6,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
07-TOC	198,00	6,00	3,00	3,00	51,00	15,00	48,00	0,31	nd
08-URU	55,40	9,00	5,00	4,00	13,60	9,00	8,60	1,05	nd
09-GOY	90,00	10,00	4,00	6,00	6,00	88,00	2,00	44,00	nd
10-RAI	135,00	13,00	3,00	10,00	27,00	88,00	24,00	3,67	245,00
11-QUE	86,50	8,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
12-QUE	95,20	8,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
13-QUE	25,00	8,00	1,90	6,10	nd	nd	nd	nd	nd
15-QUE	25,00	8,00	0,16	7,84	nd	nd	nd	nd	nd
16-QUE	25,00	8,00	0,54	7,46	8,23	65,00	7,69	7,65	nd
17-QUE	24,70	8,00	0,31	7,69	5,54	40,00	5,23	7,64	nd
18-QUE	25,00	8,00	0,11	7,89	nd	nd	nd	nd	nd
19-QUE	40,00	8,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
20-CAM	105,00	13,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
22-CAM	35,00	10,70	1,50	9,23	7,74	7,74	6,24	0,01	nd
24-PGF	61,40	3,00	3,00	0,00	20,00	26,00	17,00	1,52	nd
25-GOY	50,00	9,00	nd	nd	nd	80,00	nd	nd	nd
26-GOY	nd	9,00	nd	nd	nd	80,00	nd	1,65	nd
27-URU	150,00	9,25	3,00	6,25	23,00	33,00	20,00	1,00	nd
28-URU	144,00	7,64	4,00	3,64	25,00	21,00	21,00	1,56	nd
29-ANA	104,00	12,00	6,42	5,58	9,02	87,50	2,60	33,65	9023,00
30-URU	29,00	7,64	3,40	4,24	9,04	nd	5,64	nd	nd
31-BEC	77,00	12,00	5,10	6,90	6,60	150,00	1,50	132,31	nd
32-ANA	96,00	12,00	5,20	6,80	6,65	191,19	1,25	132,31	7400,00
33-ANA	96,30	11,50	5,63	5,87	8,20	130,00	2,57	50,00	8156,00
34-CAM	48,00	8,75	4,99	3,76	10,30	160,00	5,31	nd	nd
38-TOC	115,00	6,00	2,00	4,00	nd	nd	nd	nd	nd
42-CAM	60,00	13,00	6,00	7,00	7,50	17,00	1,50	11,33	nd
64-CAM	31,00	nd	3,00	nd	17,00	13,20	14,00	0,943	0,678
N-ANA	nd	12	6	6	14,00	300,00	8	37,50	nd

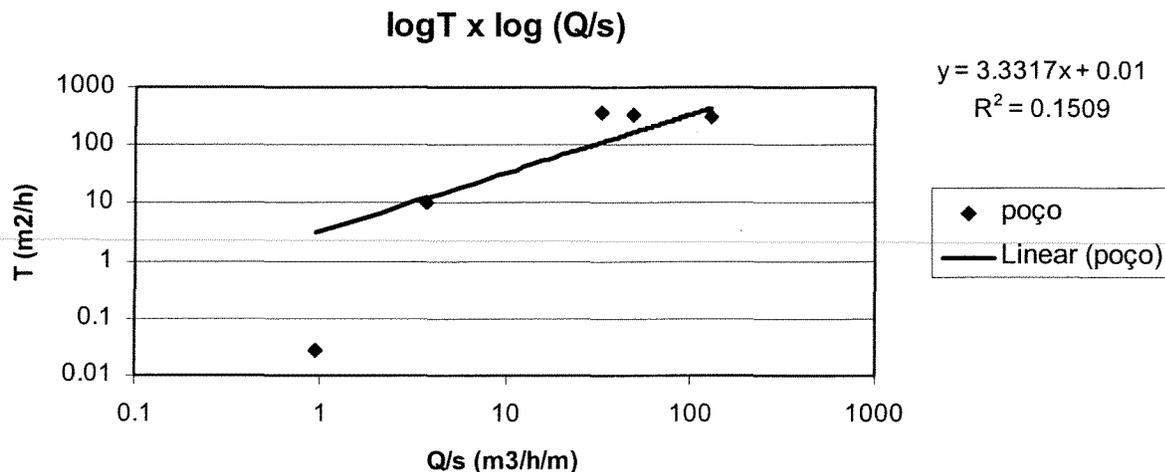
Unidades: metro para Profundidade (Prof.); Cota; Nivel Estático (NE); Cota NE; Nivel Dinâmico (ND)

m³/h para vazão; m³/h/m para capacidade específica; Transmissividade - m²/dia;

nd - dado não disponível

Fonte: Modificado de CAETANO (2000).

Observando a Tabela 4.2, nota-se uma relação entre os valores de transmissividade e capacidade específica, a qual pôde ser evidenciada com a confecção do gráfico 4.13, exibido a seguir:



Elaboração: Do autor.

Gráfico 4.13: Relação $\log T$ x $\log (Q/s)$.

Através deste gráfico, foi possível estimar a tendência da relação $\log T$ x $\log (Q/s)$, no Aquífero Quaternário Deltaico:

$$\log T = 3.3317 \log(Q/s) + 0.01 \quad (\text{Equação 4.4 – Elaboração do autor.})$$

Vale lembrar que o ajuste da reta possivelmente estaria mais preciso, caso houvesse uma quantidade maior de dados de transmissividade e capacidade específica disponíveis, e que esta última depende não só da geologia da formação como também de aspectos construtivos do poço.

Na Figura 4.7 abaixo, são apresentadas as diferentes faixas de valores de capacidades específicas em poços do AQD.

Faixas de Capacidades Específicas no AQD ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$)

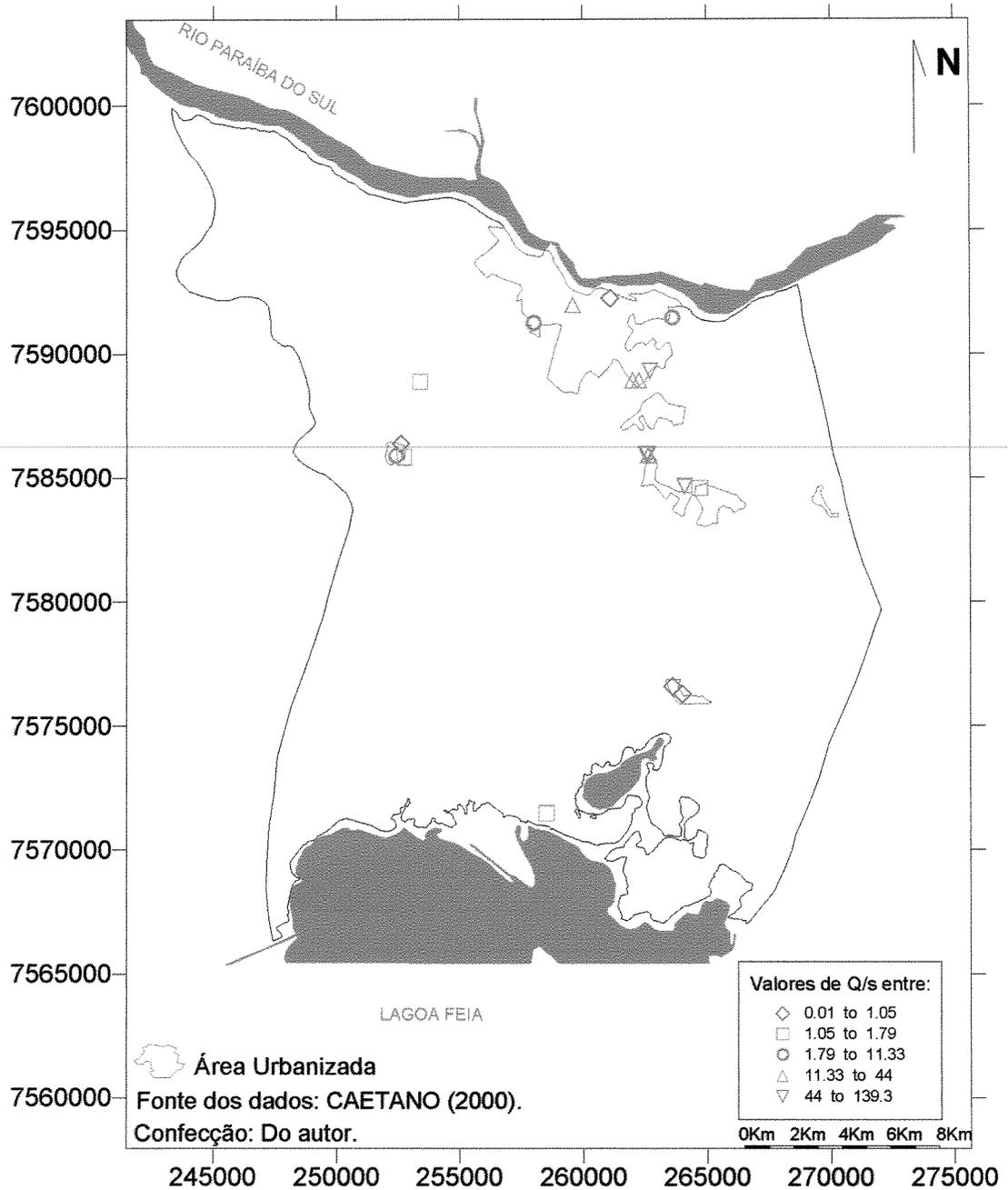
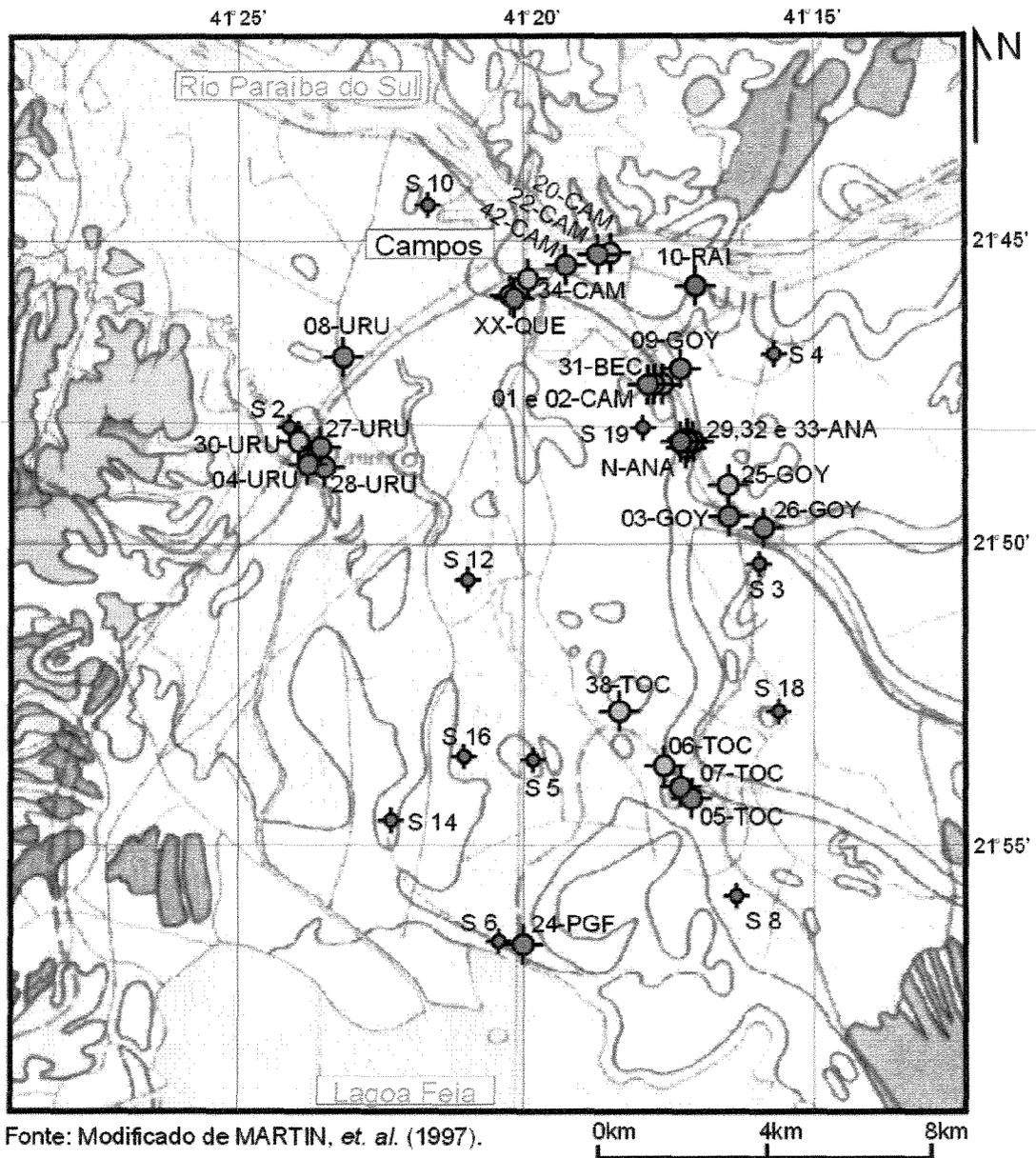


Figura 4.7: Faixas de valores de capacidades específicas no AQD.

Os poços mencionados na Tabela 4.2, assim como as sondagens a trado realizadas na etapa de campo de maio de 2002, foram plotados sobre o Mapa Geológico do Quaternário Costeiro da Metade Norte do Estado do Rio de Janeiro (MARTIN, *et al.*, 1997) para uma visualização mais completa, como mostrado a seguir.

Localização de Poços Tubulares e Pontos de Sondagens a Trado Manual na Baixada Campista



LEGENDA

- PTP sem dados
- PTP com Q/s
- PTP com Q/s e T
- ◆ Sondagem a Trado

XX-QUE - Poços 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18 e 19-QUE

Figura 4.8: Poços tubulares e pontos de sondagem, plotados no Mapa Geológico do Quaternário Costeiro da Metade Norte do Estado do Rio de Janeiro.

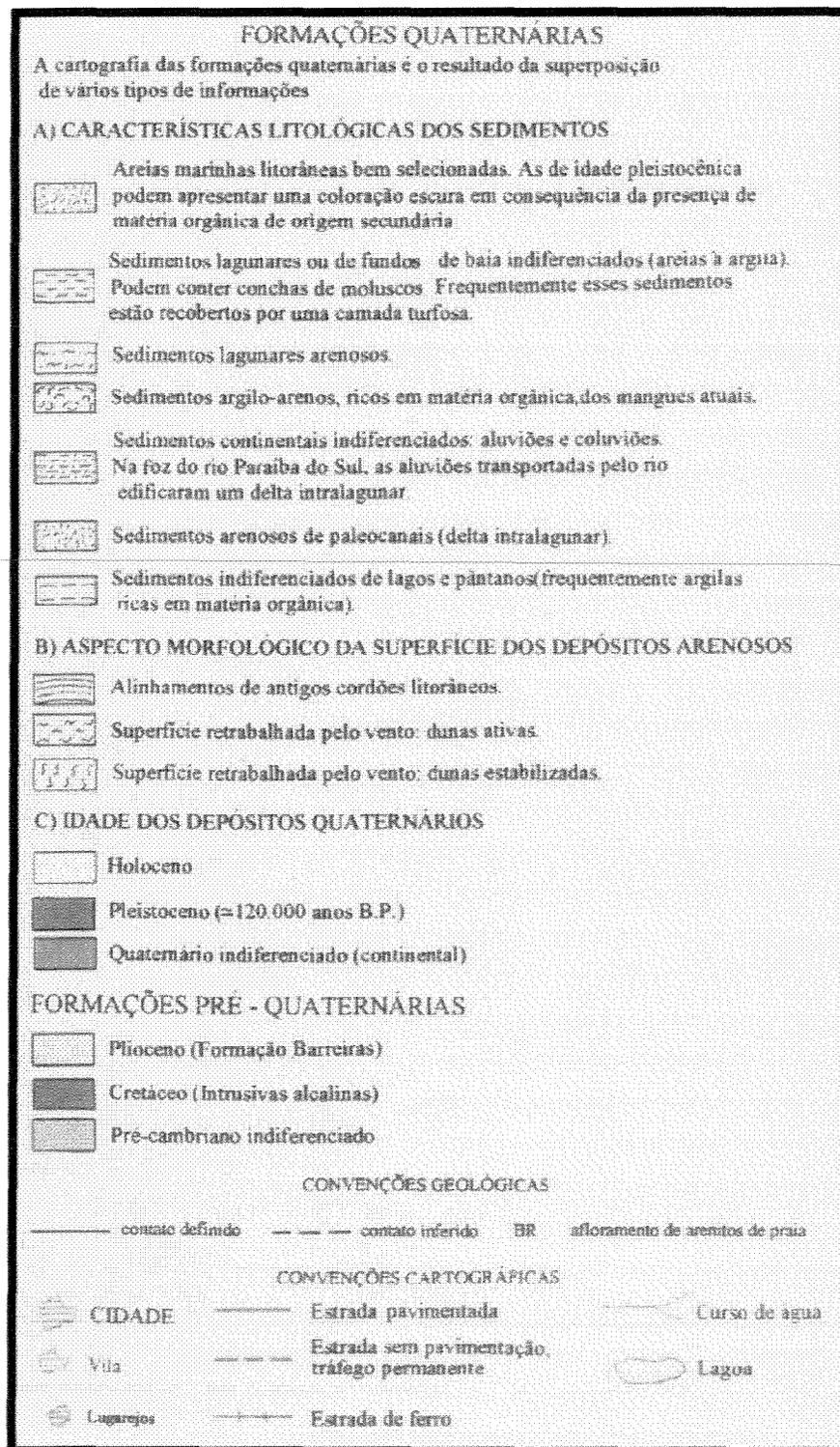


Figura 4.9: Legenda do Mapa Geológico do Quaternário Costeiro da Metade Norte do Estado do Rio de Janeiro (MARTIN, *et. al.*, 1997).

Desta maneira é possível notar que os poços 29-ANA, 32-ANA e 33-ANA, que originaram em CAETANO (2000) a transmissividade média de $8.193,00\text{m}^2/\text{dia}$ para o Aquífero Quaternário Deltaico encontram-se na localidade de Donana, corroborando com a existência do paleoleito do rio Paraíba do Sul mostrado no mapa geológico. A maioria dos outros poços também plotados sobre o paleoleito ou bem próximos do mesmo, obtiveram vazões excelentes de exploração, bem como as maiores capacidades específicas do AQD (ver Figura 4.7).

Apesar das diferenças de profundidade entre as sondagens a trado e os poços, e levando em conta os aspectos hidrodinâmicos dos outros poços apresentados por CAETANO (2000), há uma tendência de se encontrar os valores mais altos de transmissividade e capacidade específica ao longo do paleoleito do rio Paraíba do Sul indicado por MARTIN, *et. al.* (1997).

Em relação à exploração de água subterrânea, durante a etapa de campo (maio de 2002) havia apenas dois poços em atividade no Aquífero Quaternário Deltaico suprindo o sistema da concessionária local de abastecimento público: o poço “Beco” cujas coordenadas UTM são N 7588950 e E 252750; e o poço Donana, recentemente perfurado em N 7585950 e E 262620. Segundo informações verbais de um funcionário desta empresa, estes poços funcionavam em maio de 2002 sob os seguintes regimes:

Beco - chamado por CAETANO (2000) de 31-BEC - Nível estático de 6m, nível dinâmico de 10m, explotando uma vazão de $150\text{m}^3/\text{h}$, capacidade específica de $37,50\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, num regime de exploração de 24h/d.

Donana, denominado neste trabalho como N-ANA, com nível estático de 6m, nível dinâmico de 14m, explotando uma vazão de $300\text{m}^3/\text{h}$, com capacidade específica de $37,50\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, em regime de exploração de 24h/d.

4.2.2.5 Modelo Conceitual de Aquífero Proposto, Fluxo Subterrâneo e Condições de Contorno

O Aquífero Quaternário Deltaico caracteriza-se como um aquífero livre, num pacote sedimentar constituído por intercalações de lentes de areia e lentes de argila, formado em ambiente fluvio-lacustre constantemente invadido por transgressões marinhas. Como modelo de aquífero, é proposto um comportamento geral homogêneo do ponto de vista hidrogeológico, excetuando-se a faixa anômala do paleoleito do rio Paraíba do Sul, na qual ocorrem valores de transmissividade e capacidade específica bem mais altos do que no restante da área. Tal comportamento homogêneo se dá porque, nas demais áreas do aquífero, as espessuras das lentes são pequenas, quando comparadas às espessuras médias (em torno de 60 metros), ou mesmo às espessuras totais do pacote, que podem chegar a 120 metros. Sua relação hidrogeológica com o embasamento cristalino ainda é pouco conhecida no que se refere a fluxo subterrâneo. Não se pode descartar a idéia de haver contribuição do Aquífero Cristalino para o Aquífero Quaternário Deltaico por meio de fraturamentos e falhamentos, que trariam as águas que percolam a montante.

Corroborando com CAETANO (2000), após a confecção e análise dos mapas das campanhas piezométricas em anexo, é possível afirmar que o AQD é alimentado quase totalmente pelo rio Paraíba do Sul. Este mesmo rio, influente com relação ao AQD, torna-se efluente em sua margem esquerda, no Aquífero Barreiras. O fluxo da água subterrânea possui direção e sentido geral NNW-SSE, com área principal de descarga na lagoa Feia (com valores de carga hidráulica geralmente menores que 1,0m), na porção sul do aquífero. Entretanto, observa-se uma tendência de descarga de águas que percolam no extremo noroeste do AQD, à região da lagoa de Cima, também a noroeste da área. Abaixo desta lagoa, parece haver também alguma influência do Aquífero Cristalino, com uma componente de direção quase W-E e sentido E, evidenciada mais no extremo sudoeste da área, que produziria a resultante geral NNW-SSE no fluxo do AQD.

Pode ser notado nos mapas gerados pelo levantamento do IAA, que alguns canais condicionavam a potenciometria de maneira efluente, como os canais da

Cachoeira e o de Tocos, ou aparentemente influente, como o canal do Coqueiro. Porém, no mapa Campanha piezométrica em maio de 2002 (Anexo 2), é confirmada a dedução de CARVALHO (1998), de que o canal de Tocos funciona como o dreno mais eficiente da região da baixada campista, pois este é o único que se mantém um condicionante direto às curvas potenciométricas.

Como principais delimitações hidrogeológicas ou condições de contorno, o Aquífero Quaternário Deltaico apresenta a noroeste o embasamento cristalino aflorante, a norte o rio Paraíba do Sul, a leste as Formações Barreiras e Emborê, e, finalmente, a sul, funcionando como principal área de descarga, a lagoa Feia.

Ainda sobre os dados da campanha piezométrica de 1983, promovida pelo MIC & IAA (1983), observa-se que, apesar de constituírem uma série temporal pequena, os mesmos reafirmam uma tendência de não variação do nível estático. Em uma análise mais acurada, verifica-se que na porção norte da área (onde há a recarga do aquífero) os níveis potenciométricos não variam com o tempo, porém na parte sudeste, há uma variação singular desses níveis, onde se situa a região de descarga do AQD. Quando comparada a situação potenciométrica de 1983 à atual, é possível notar-se uma elevação substancial no nível d'água, principalmente nas áreas centro-sul e sudeste da região em estudo. É observada também uma orientação mais forte do fluxo subterrâneo no sentido sudeste.

4.2.2.6 Hidroquímica e Qualidade

Os parâmetros e íons analisados nas amostras coletadas durante a etapa de campo em maio de 2002 foram: condutividade elétrica, pH, sódio, razão de adsorção de sódio (RAS), potássio, cálcio, magnésio, ferro total, bicarbonato, sulfato, cloreto, nitrogênio total e carbonato.

Caracterização química e físico-química das águas subterrâneas no AQD

Na Tabela 4.3 constam os resultados das análises químicas e físico-químicas das amostras de água coletadas na etapa de campo, em maio de 2002. As amostras foram analisadas no laboratório Centro de Análises da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda. E a Tabela 4.4 traz dados complementares sobre a campanha de amostragem.

TABELA 4.3
RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS

Ponto	pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Fe total	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	N total	RAS
1	8,4	1,37	15,4	198,6	68,9	76,6	5,1	61,6	0,1	284,0	301,2	5,1	3,9
2	7,5	1,28	210,6	20,2	63,7	28,9	3,0	79,9	98,6	266,2	25,3	59,5	0,5
3	7,9	0,55	31,9	40,4	36,4	14,4	0,9	38,4	0,9	71,0	58,4	4,2	1,4
4	6,5	0,11	93,6	23,9	37,6	25,2	#	#	1176,6	#	4,1	77,5	0,7
5	6,6	0,64	7,9	55,6	37,6	18,7	0,0	15,2	6,3	142,0	138,5	2,7	1,8
5a	6,3	8,71	327,6	1151,7	539,2	520,6	0,0	12,2	1,2	2236,5	2191,2	4,2	8,4
6	7,3	0,86	15,4	99,3	52,1	30,3	0,0	30,5	11,4	230,8	167,8	5,4	2,7
7	7,5	0,57	26,4	55,6	40,2	13,2	0,0	35,3	3,4	159,8	58,4	3,0	1,9
8	6,6	3,01	15,2	650,1	31,2	39,0	0,0	7,9	31,2	1384,5	2,7	6,3	18,3
9	7,5	0,19	1,2	13,7	9,2	3,8	0,0	12,2	0,7	71,0	4,1	1,2	0,9
10	7,2	0,36	2,9	58,1	6,4	8,3	0,0	20,7	51,6	88,8	30,2	5,1	3,5
11	7,1	0,63	41,8	83,6	20,8	13,7	0,0	18,9	0,1	177,5	40,8	2,7	3,4
12	4,7	1,25	18,6	50,5	75,5	70,0	0,0	0,0	158,4	88,8	737,0	8,1	1,0
13	7,2	0,78	15,6	101,6	39,0	22,3	0,0	57,9	0,6	195,2	11,3	2,7	3,2
14	6,7	0,68	4,5	173,3	13,0	13,1	0,0	29,8	16,8	266,2	44,5	1,8	8,1
15	5,7	0,80	13,8	101,6	61,3	28,9	0,0	4,2	0,4	142,0	258,4	1,8	2,6
17	6,2	0,42	34,1	55,6	13,0	8,5	0,0	14,0	1,8	106,5	54,3	3,0	2,9
18a	7,0	1,21	19,8	149,6	67,7	24,5	3,0	28,6	5,0	443,8	54,3	3,0	3,9
18b	6,5	0,91	33,0	102,5	40,4	15,3	0,0	15,2	1,0	248,5	96,7	2,7	3,4

Obs.: Todos os valores estão em mg/l, exceto a condutividade elétrica (representada em mmhos/cm), o RAS (em meq/l), e o pH (que não possui unidade).

Fonte: Do autor

TABELA 4.4
DADOS SOBRE A CAMPANHA DE AMOSTRAGEM EM MAIO DE 2002

Ponto	Localização	Tipo da Coleta	Coordenadas UTM	
			N	E
1	Na área da Cerâmica Primeira	direta em tanque	7585108	261443
2	Nas proximidades da Usina Cupim	bailer em furo de trado	7586910	251841
3	À beira da estrada Goytacazes-Tocos	bailer em furo de trado	7582870	265300
4	Parada	bailer em furo de trado	7589476	266562
5	Estrada vicinal entre Goytacazes e Tocos	bailer em furo de trado	7576442	259427
5a	Chácara em estrada vicinal entre Goytacazes e Tocos	em poço tubular raso	7575826	259460
6	Ponta Grossa dos Fidalgos, próximo à lagoa Feia	bailer em furo de trado	7571211	258428
7	Campo de Futebol, em Ponta Grossa dos Fidalgos	em poço tubular raso	7571465	257907
8	À beira da estrada Tocos-Marcelo	bailer em furo de trado	7572696	265432
9	Residência vizinha à área de plantio da Usina Santa Cruz	em poço doméstico	7594593	256527
10	Área de plantio da Usina Santa Cruz	bailer em furo de trado	7594177	255638
11	Residência na estrada do Carvão	em poço doméstico	7586507	257646
12	Área de plantio da Fazenda Piabanha	bailer em furo de trado	7581734	256915
13	Sede da Fazenda Piabanha	em poço doméstico	7581546	256400
14	Antiga estrada Centro-Ponta Grossa dos Fidalgos	bailer em furo de trado	7574782	254812
15	Residência na antiga est. Centro-Ponta Grossa dos Fidalgos	em poço doméstico	7573538	255260
17	Sede da Fazenda Baganzal	em poço doméstico	7578424	255380
18a	Residência em estrada vicinal entre Goytacazes-Tocos	em poço doméstico	7578596	266003
18b	Estrada vicinal entre Goytacazes-Tocos	bailer em furo de trado	7578786	265083

Obs.: Coordenadas métricas obtidas por GPS manual (Map Datum: South American '69).

Fonte: Do autor

As águas subterrâneas aqui amostradas apresentaram-se mineralizadas, com pH variando de ácido a básico (entre 4,7 e 8,4), condutividade elétrica (CE) variando de 0,11 a 8,71mmhos/cm, teores elevados de potássio (entre 1,20 e 327,60mg/l), sódio (13,79 e 1151,72mg/l), e menores de cálcio (6,41 a 539,27mg/l), e magnésio (3,89 e 520,67mg/l). Os ânions presentes analisados foram CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} e Cl^- , destacando-se o cloreto (entre 71,00 e 2236,50mg/l). Os íons nitrogenados, calculados como nitrogênio total, apresentaram-se entre 1,21 e 77,58mg/l. O ferro quase sempre elevado, também como ferro total, variando entre 0,10 e 1176,60mg/l. É possível notar que as concentrações são bastante variadas em praticamente todos os parâmetros.

Comportamento dos parâmetros físico-químicos na área de estudo

Dentro deste subitem, procurou-se abordar principalmente os índices de pH e a condutividade elétrica da área. Os estudo do PROJIR (1983) originou, entre outros, os dados que constituem a compilação exposta na Tabela 4.5 abaixo. Estes dados foram utilizados na confecção dos mapas de condutividade elétrica de 1983 (anexos 6a e 6b), índices de pH em 1983 (anexos 7a e 7b) e razões iônicas rMg^{+2}/rCa^{+2} em 1983 (anexos 8a e 8b).

TABELA 4.5
DADOS DO PROJIR (1983)

Piezômetro	Coordenadas UTM		pH		rMg^{+2}/rCa^{+2}		CE	
	N	E	1 tri	2 tri	1 tri	2 tri	1 tri	2 tri
2	7598000	247920	7,0	6,6	1,34	2,62	0,75	0,75
3	7594600	249630	6,9	6,4	0,81	1,50	0,25	0,19
4	7598250	246105	6,8	6,4	1,13	1,66	0,25	0,16
6	7592340	243470	6,4	6,1	1,16	0,60	0,15	0,08
7	7596115	251930	6,8	6,5	1,78	2,06	0,75	0,50
11	7585160	252215	5,4	5,6	0,88	1,25	0,50	0,13
12	7585620	259320	nd	6,2	nd	1,66	nd	0,14
14	7581770	257455	6,0	2,6	0,32	1,15	0,60	1,25
20	7586690	262670	6,1	5,4	0,36	2,33	0,18	0,15
21	7591725	262510	6,7	6,4	0,11	0,50	0,13	0,17
22	7592275	268055	7,0	6,6	0,53	1,16	0,94	0,21
31	7585500	266800	7,3	6,8	0,86	1,12	0,75	0,76
39	7579175	260655	7,2	6,8	1,55	7,10	0,70	0,90
47	7577035	262980	7,3	6,8	3,14	1,32	0,80	0,74
50	7574750	265060	7,3	7,0	1,00	0,73	0,75	0,42
53	7572850	249255	7,4	7,4	0,23	0,20	0,70	0,40
54	7572575	256250	7,3	7,0	1,60	1,78	2,50	1,00
61	7570965	259850	7,5	7,6	6,81	8,19	3,50	2,50
90	7574960	252840	6,6	7,1	2,37	2,14	2,50	2,00

Fonte: MIC & IAA (1983).

1 tri = primeiro trimestre de 1983. 2 tri = segundo trimestre de 1983.

nd = não há dado. Razão em meq/l. Condutividade elétrica em mmhos/cm.

Observando-se os mapas de pH, é possível notar uma diminuição na acidez da água na porção centro-norte da área que, em 1983, chegou a atingir índices de até 5,4. A variação de pH na área se deu tanto a curto prazo (no caso do primeiro trimestre para o segundo de 1983), quanto a longo prazo (campanha de 2002, quando os índices demonstraram uma tendência à acidez maior na parte centro-sul, onde pontos como o 12 e o 15 ficam em evidência).

O programa Surfer define automaticamente os valores máximo e mínimo do mapa de contorno, baseando-se em valores informados pelo usuário. Neste caso, foram evidenciadas algumas faixas de valores, para produzir uma melhor visualização dos mapas de condutividade elétrica no primeiro trimestre de 1983 (Anexo 6a), condutividade elétrica no segundo trimestre de 1983 (Anexo 6b) e condutividade elétrica em maio de 2002 (Anexo 6c), visando entender o comportamento espacial deste parâmetro no aquífero.

Os mapas de condutividade elétrica de 1983 demonstram uma região anômala a SSE da área de estudo, nas proximidades de Ponta Grossa dos Fidalgos, onde havia sido detectada uma anomalia no poço tubular 24-PGF, cujos filtros localizavam-se dentro do intervalo de 30,00 a 61,40m de profundidade (CAETANO, 2000). Já em 2002, observa-se o pico anômalo, com um valor muito mais elevado do que as anomalias de 1983, próximo à Lagoa do Jacaré (ponto 5a). No mapa Condutividade Elétrica em maio 2002 também pode ser notada uma faixa anômala NW-SE.

Foram feitas correlações entre a condutividade elétrica, pH e diversos íons analisados durante a campanha de maio de 2002, como mostra a tabela abaixo:

TABELA 4.6
CORRELAÇÃO ENTRE CE, pH E ÍONS ANALISADOS

Correlação	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Fe _{total}	HCO ₃	SO ₄ ⁻²	Cl	CO ₃ ⁻²	N _{total}	pH
CE	0,9605	0,7791	0,9509	0,9606	-0,1514	-0,1572	0,9063	0,9559	-0,0246	-0,1019	-0,1832
PH	-0,1532	-0,0667	-0,1884	-0,1884	-0,1739	0,7024	-0,3392	-0,1542	0,5114	0,0096	

Fonte: Do autor.

.....

.....



Os valores de condutividade elétrica obtiveram resultados afins com o sódio, potássio, cálcio, magnésio, sulfato e cloreto. Já os valores de pH, conforme o esperado, correlacionaram-se com bicarbonato e carbonato. A correlação pH x CE não foi satisfatória.

Há suspeita de intrusão marinha na porção sul da área de estudo e que esta intrusão tenha acentuado a salinidade da área nestes últimos anos, devido ao comportamento indicado nos mapas de condutividade elétrica e à proximidade com o oceano Atlântico.

Análise da qualidade da água

Os resultados das análises foram comparados com os limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde e os limites recomendados para o consumo humano pela Organização Mundial da Saúde. Para os íons que não possuem limites normatizados, foram tomadas como bases comparativas as concentrações mais comuns destas substâncias nas águas subterrâneas, conforme CPRM (1997). O Anexo 4 (Tabela de valores-limite) traz a comparação, onde todos os valores encontram-se em mg/l, exceto os de pH. Nos mapas de índices de pH (Anexos 7a, 7b e 7c), os limites (6,0 a 9,5) foram bem definidos, deixando claro quais as zonas que, segundo os índices, estariam impróprias para o aproveitamento da água subterrânea rasa em abastecimento humano.

De uma forma geral, observamos K^+ e Fe total acima dos limites em toda a área de estudo. Os pontos mais anômalos encontrados são o 5a (Foto 4.1) e o ponto 12 (Foto 4.2). A amostra do ponto 5a foi coletada num poço tubular raso com um cata-vento acoplado, que apresentava indícios de oxidação do ferro e precipitação de sais. Já o ponto 12 caracterizou-se por uma amostragem do aquífero freático por meio de uma sondagem a trado.

.....

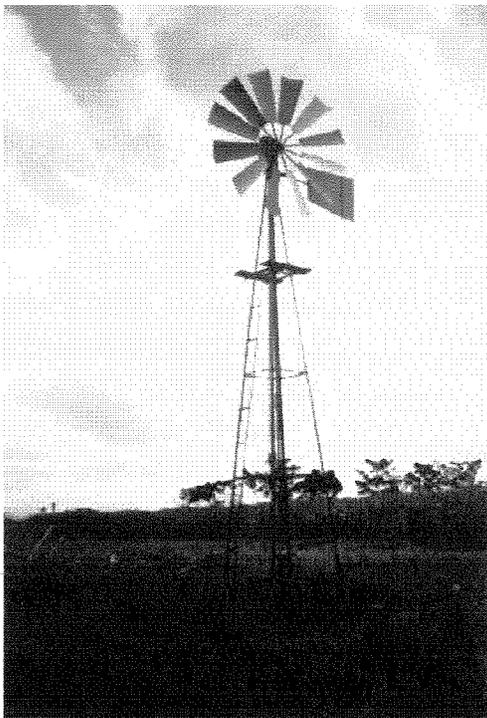


Foto 4.1: Moinho de vento que bombeia água de poço raso no ponto 5a.



Foto 4.2: Vista do ponto 12, localizado à beira de uma propriedade voltada ao cultivo da cana-de-açúcar.

Características sobre os íons em concentrações representativamente elevadas

Este subitem trata de aspectos do excesso de um dado íon, dentro da campanha de amostragem, que torna a água imprópria para o consumo humano.

- Ferro

O ferro é o segundo metal mais comum na crosta terrestre, apenas em menor quantidade que o alumínio. A forma mais freqüente nas águas subterrâneas do elemento ferro é o Fe^{+2} e sua solubilidade varia em função do grau de oxidação do ambiente. Quando exposto ao oxigênio, o Fe^{+2} oxida, passando a Fe^{+3} .

Uma vez presente, este íon pode associar-se a colóides ou húmus, o que dá a cor amarelada à água, e, além da má sensação causada pela cor, o consumo de água com excesso de ferro pode aumentar problemas cardíacos, diabetes e de calvície.

No ambiente, a origem desse elemento associa-se em grande parte à alteração de minerais de ferro, porém, no Aquífero Quaternário Deltaico, é mais possível que esteja relacionada a outra fonte natural, como depósitos orgânicos e detritos de plantas, posto que sua ocorrência é mais superficial do que profunda.

Dentre os analisados, o íon que mais se apresenta fora dos padrões é o ferro, como pode ser visto na Tabela de valores-limite (Anexo 4). O mapa Índices de ferro total em maio de 2002 (Anexo 5a) demonstra a vasta distribuição espacial deste elemento, acima dos limites permitidos pela legislação vigente para o consumo humano de água.

Em CAETANO (2000), é possível observar teores elevados de ferro no poço do Projeto Agrovila Caraíba (84,3mg/l), do qual não constam coordenadas e no poço do Conjunto Habitacional Fazenda Cupim, próximo ao ponto 2 da presente campanha, demonstrando um valor de 98,6mg/l. O Poço do Beco, localizado entre o centro de Campos e Donana (área de abrangência da anomalia notada no ponto 4 desta campanha) também apresenta problemas com o ferro, exigindo da concessionária local a manutenção de uma estação de remoção de

ferro da água. A região de Donana apresenta baixos índices tanto junto à superfície freática, como mostra o ponto 1 (0,1mg/l), quanto em profundidade.

Na área de estudo não é notada a associação do ferro com o manganês, tão freqüente em outras áreas. Os altos níveis de ferro em poços tubulares profundos na área de estudo poderiam ser reduzidos, ou mesmo evitados, se durante a construção destes poços, houvesse um cuidado maior com o revestimento das lentes de solo mais superficiais, geralmente mais ricas em ferro. Isto é negligenciado por muitas empresas perfuradoras de poços, no intuito de obterem a maior recarga possível do poço, instalando filtros a pequenas profundidades. Por vezes, este é um artifício para obter-se uma vazão economicamente viável, principalmente em áreas de baixa disponibilidade hídrica, porém, isto obriga o responsável pela exploração a instalar uma estação de tratamento de ferro.

- Cloreto

Este íon está quase sempre presente nas águas subterrâneas. É muito solúvel, estável em solução e, geralmente, mais móvel do que a maioria dos íons, o que o torna um bom indicador de contaminação. Devido à sua mobilidade, o cloreto é capaz de atingir maiores distâncias em tempos menores do que os outros íons. Ocorre com freqüência em contaminações causadas por lixões e aterros sanitários, e em intrusões da cunha salina.

O indício de contaminação local em Goytacazes, apontado no mapa Índices de cloreto (Anexo 5b), não foi detectado pelo levantamento piezométrico do IAA em 1983, não constando em nenhum dos mapas de condutividade elétrica da época. Isto pode ser explicado de duas maneiras isoladas ou coincidentes: a anomalia pode ter se formado posteriormente à campanha do IAA, podendo ser momentânea, ou, se deu antes, apenas em profundidade, não aparecendo até 2000, porém, sendo notada em maio de 2002, durante a etapa de campo do presente trabalho.

CAETANO (2000) indicou que ocorrem níveis muito altos de cloreto no poço tubular profundo de Ponta Grossa dos Fidalgos (1.800mg/l) e uma anomalia da ordem de 485mg/l no poço tubular profundo de Goytacazes. Estes altos índices de cloreto foram indicados anteriormente pelo levantamento da condutividade elétrica do PROJIR em 1983, e confirmados pela atual etapa de campo, agora em diferente profundidade (aquífero freático, pelas coletas de água nas sondagens a trado), como pode ser observado no mapa Índices de cloreto em maio de 2002 (Anexo 5b). Neste levantamento podem-se notar índices anômalos principalmente nos pontos 5a e 8.

É forte a suspeita de que esta anomalia seja causada por um mau uso do solo, aliada ao clima semi-úmido e à percolação de água do mar. Tal cenário ainda seria agravado pelo déficit hídrico que ocorre na região. O referido mau uso do solo é caracterizado pela infiltração de efluentes orgânicos gerados em grandes quantidades nas aglomerações urbanas locais, ou originados a montante e despejados no rio Paraíba do Sul, além do uso excessivo de fertilizantes ao longo do tempo.

Devido ao significativo impacto ambiental apontado por estas evidências, são recomendados o prosseguimento e o aprofundamento de estudos nesta área, enfocando a região de Ponta Grossa dos Fidalgos.

- Nitrato

Segundo CPRM (1997), este íon é muito móvel e representa o último estágio da oxidação da matéria orgânica, sendo comumente encontrado em locais de acumulação da matéria orgânica, como pântanos de planícies deltaicas e em resíduos de processos antrópicos. Estes resíduos originam-se de fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, e adubagens agrícolas, devido ao favorecimento que o nitrato traz à agricultura.

Como dito anteriormente, as fossas sépticas e esgotos apresentam grandes concentrações deste composto, o que torna as grandes concentrações demográficas focos potenciais de contaminações por nitrato.

Neste estudo, foi enfatizada a produção de nitrato por fossas sépticas em concentrações urbanas, seguindo a técnica metodológica aplicada por SÃO PAULO (1997) conforme descrito a seguir.

Foram levantadas as principais concentrações urbanas na área de estudo, assim como suas respectivas populações. A partir daí, relacionou-se a população ao índice que SÃO PAULO (1997) denominou como Carga Potencial Poluidora (CPP), classificando-se as localidades em: reduzido (valores até 20.000 de CPP), moderado (entre 20.000 e 50.000) e elevado (maiores que 50.000). Este índice foi calculado levando em conta que cada habitante produz uma carga de 4kg de $N-NO_3^-$ /ano em fossas sépticas. Foram feitas tentativas de se obter o percentual da população no Centro de Campos que é assistida por rede de esgoto, porém, a companhia de saneamento local não colaborou muito com o estudo. Então, como forma de estimativa, usou-se um percentual de 40% para população desassistida em ligações de esgoto, chegando-se a um número estimado de 94.009 habitantes sem rede de esgoto no Centro de Campos, a sul do rio Paraíba do Sul.

TABELA 4.7
ÍNDICES DE CARGA POTENCIAL POLUIDORA (CPP)

Localidade	População	kg de N-nitrato/ano	Índices de CPP
Campos	94.009	376.036	elevado
Ururai	4.505	18.020	reduzido
P. G. dos Fidalgos	1.860	7.440	reduzido
Goytacazes	7.575	30.300	moderado
Donana	3.875	15.500	reduzido
Tocos	7.300	29.200	moderado
Poço Gordo	340	1.360	reduzido
TOTAL	119.464	477.856	

Fonte: Do autor.

Os valores de CPP variam de reduzido a moderado, apresentando-se elevados apenas na sede do município. No mapa Índices de nitrogênio total em maio de 2002 (Anexo 5c), a faixa de valores acima do permitido para nitrato coincide com a sede de Campos, porém, a densidade de pontos de coleta nesta área não é suficiente para que possa confirmar a correlação. Os pontos de amostragem em maio de 2002 cujas amostras originaram a faixa anômala, são: o ponto 2, localizado à beira de um canavial, próximo à Usina Cupim, suspeito de estar quimicamente relacionado ao efluente (talvez vinhaça) que corre por uma valeta desta usina; e o ponto 4, também localizado em área agriculturável.

Os resultados desta etapa alertam sobre o consumo de água subterrânea rasa em poços domiciliares, dentro de grandes concentrações urbanas, sem que se faça o devido controle de qualidade e se garanta os padrões estabelecidos pela legislação em vigor.

- Potássio

Este íon é muito utilizado em compostos fertilizantes para solos, benéfico ao desenvolvimento dos vegetais que utilizam seus sais, sendo facilmente adsorvidos por minerais de argila. Pode ser também proveniente da influência marinha na água subterrânea. Seus efeitos mais comuns no corpo humano, quando em excesso, são câimbra, fadiga, paralisia muscular e diarreia.

Apesar de não ter limite estabelecido pela Portaria nº 1469/2000, adotou-se o valor de 10mg/l, sugerido por CPRM (1997), para avaliação dos resultados expostos no mapa Índices de potássio em maio de 2002 (Anexo 5d). Nesta avaliação, os índices se encontram acima do limite em grande maioria dos pontos, atingindo os valores mais elevados nos pontos 5a, 5 e 2. Possivelmente, a origem desse íon na água da região está ligada ao uso de fertilizantes nas lavouras de cana, pois a distribuição espacial dele é ampla e diferente do padrão de distribuição de anomalias do cloreto (elemento mais associável, num caso de intrusão marinha), que além de se concentrar mais a sul da área de estudo, foi detectado também em maior profundidade, no poço 24-PGF. Cabe destacar novamente que as águas foram amostradas em pequenas profundidades, estando mais sujeitas a contaminações provenientes da precipitação e infiltração diretas de substâncias na superfície do terreno, talvez não encontradas a maiores profundidades.

- Sódio

Muito abundante nas águas subterrâneas, o sódio possui uma solubilidade elevada, é de difícil precipitação, além da ampla distribuição de seus minerais fontes, que, geralmente, apresentam baixa estabilidade química, alterando-se facilmente. É muito comum encontrá-lo associado ao cloreto nas águas subterrâneas e sua ação sobre os solos é muito nociva do ponto de vista da agricultura, pois sua presença reduz a permeabilidade destes solos (CPRM, 1997). Antes de utilizar uma água na agricultura, costuma-se avaliar sua razão de adsorção de sódio (RAS), que indica a porcentagem de sódio que pode ser

adsorvida pelo solo, levando em consideração também teores de cálcio e magnésio.

Seus índices encontram-se anômalos justamente a sul/sudeste da área (Anexo 5e), coincidindo com os índices de cloreto. Vale lembrar que a correlação entre estes dois íons é de 0,98, ou seja, quase 1 (100%). Alcançou valores de mais de 1.000 ppm na amostragem de maio de 2002, e sua relação com a influência marinha é muito forte.

- Sulfato

Costuma ser moderadamente a muito solúvel, e também responsável pelo aumento da salinidade dos solos e das águas subterrâneas. Quando ingerido em excesso, pode causar efeitos laxativos e até distúrbios gastrointestinais, sendo altamente perigoso em sua associação ao ferro, como sulfato ferroso. Avaliando os resultados no mapa Índices de sulfato em maio de 2002 (Anexo 5f), pode-se notar que as anomalias deste íon coincidem com as anomalias de cálcio, sódio e magnésio, podendo estar associados como CaSO_4 , ou MgSO_4 , na porção afetada pela intrusão salina.

Seu limite de potabilidade estabelecido pela Portaria nº 1469/2000 é de 250mg/l (BRASIL, 2001).

Fontes de contaminação da baixada campista

- Área urbana sem saneamento básico em sua totalidade

Adotando um percentual de 40% da população sem ligações, ou mesmo sem acesso à rede de esgoto, como estimativa, a questão da utilização de fossas sépticas torna-se preocupante, numa aglomeração urbana como a sede do município de Campos, conforme pôde ser visto nas características do íon nitrato, descritas acima. A situação se complica quando os efluentes domésticos passam a ser jogados ilegalmente por moradores, ainda *in natura*, em córregos e canais

de drenagem da região, como é o caso do canal Campos-Macaé, que passa pelo Centro de Campos e hoje se apresenta eutrofizado.

- Processos agrícolas

Processos como fertilização, a fertirrigação (fertirrigação refere-se à aplicação de fertilizantes via água de irrigação) e a disposição de efluentes das indústrias de processamento da cana em canais sem impermeabilização são também responsáveis pela contaminação na baixada campista.

Como grande produtora de álcool, a região enfrenta problemas com a vinhaça. A vinhaça é um efluente líquido resultante do processamento da cana-de-açúcar, sendo gerado numa proporção de 13 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido.

É uma prática muito comum neste tipo de cultura, utilizar a vinhaça como um “aditivo” à água de irrigação das lavouras, geralmente por meio de uma malha de canaletas, engendrando o processo chamado de fertirrigação. A utilização da fertirrigação, em detrimento de outros métodos, é justificada por seus usuários pelos seguintes motivos:

- 1) Menor uso de equipamentos pesados no campo, e conseqüente diminuição da compactação do solo, acentuada por estes equipamentos, assim como menores danos mecânicos à cultura já estabelecida;
- 2) Uso e custo com equipamentos e energia podem ser mais otimizados;
- 3) Melhor monitoramento do suprimento de nutrientes e otimização da utilização de fertilizantes; e
- 4) Menores custos com a supervisão do processo, podendo utilizar a mesma estrutura para uma aplicação de defensivos, caso haja necessidade.

Porém, tal prática que, a curto prazo, traz alguns benefícios, a médio e longo prazos, polui o lençol freático e saliniza o solo, prejudicando a qualidade da cana-de-açúcar. Pode carrear ferro da zona não-saturada para o aquífero e aumenta a demanda química de oxigênio (DQO). Os compostos cujas concentrações são mais alteradas com a prática da fertirrigação são o cloreto, o fosfato, o carbono orgânico, o nitrogênio, o amônio, e o sulfato (HASSUDA, 1989). Os métodos de fertilização, quaisquer que sejam, geralmente acabam acarretando o excesso no solo e na água subterrânea de N, P, e K, que são chamados de macronutrientes primários ou nobres, e Ca, Mg e S, denominados macronutrientes secundários (SERRANA, 2002).

Os valores anômalos encontrados no ponto 2 da campanha de maio de 2002 na área em apreço aparentam forte relação com a utilização, na lavoura, da vinhaça oriunda da Usina Cupim. Este ponto localiza-se na entrada de um dos canaviais que abastecem a usina e, em suas proximidades, existe uma canaleta por onde escoam os efluentes da produção da Usina do Cupim (Foto 4.3).

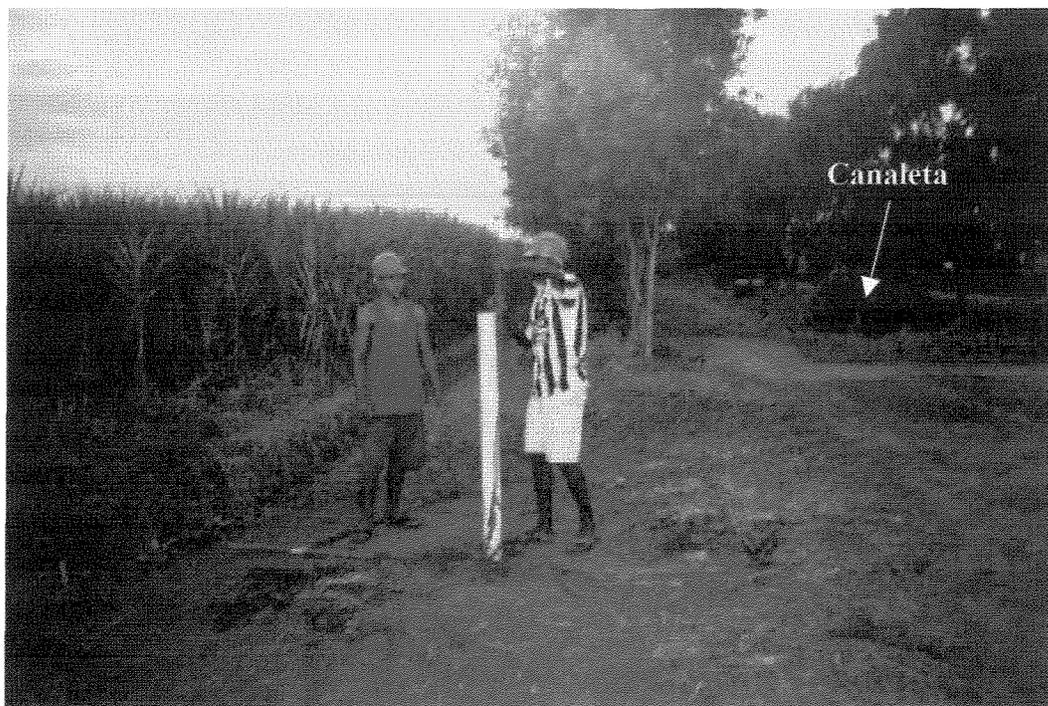


Foto 4.3: Ponto 2, na entrada do canavial vizinho à Usina Cupim.

- Intrusão salina

Outra fonte de contaminação de uma parte da baixada campista é a intrusão salina a sul/sudeste da área, na região de Ponta Grossa dos Fidalgos. Com o objetivo de melhor evidenciar a influência da água do mar no Aquífero Quaternário Deltaico, utilizaram-se como ferramentas as razões iônicas, que representam a relação entre íons dissolvidos na água.

Com dados da campanha do MIC & IAA (1983), produziu-se mapas da razão iônica rMg^{+2}/rCa^{+2} (Anexos 8a e 8b) nos quais é possível observar índices superiores a 5, valor que consta na literatura como equivalente à água do mar (CPRM, 1997). Tais índices elevados compreendem a região a norte de Tocos, até Ponta Grossa dos Fidalgos. Esta mesma razão, em maio de 2002 (Anexo 8c), apesar de alta, mostrou-se dentro dos padrões para águas continentais (de 0,3 a 1,5meq/l, segundo CPRM, 1997). Uma possível explicação para esta diminuição seria o uso de $CaCO_3$ como corretivo para o solo, o que o enriqueceria em cálcio e faria a razão cair. Ainda especulando, isto explicaria em parte o aumento do pH na faixa SE/NW que cruza a área na porção centro-norte do mapa Índices de pH em maio de 2002 (Anexo 7c).

O mapa Razão Iônica $rCl/rHCO_3^-$ em maio de 2002 (Anexo 8d) reafirma a tendência à salinidade em Ponta Grossa dos Fidalgos. Segundo CPRM (1997), os valores da água continentais ficam em torno de 0,1 a 5, enquanto a água do mar apresenta-se de 20 a 50. Na área suspeita, os índices aparecem até mesmo acima de 50.

Com índices tão altos, pode-se concluir que, além de uma influência marinha, a área sofre o acúmulo de sais provenientes de grande parte da baixada campista, carregados pelo movimento das águas subterrâneas à porção sul.

Avaliação da água com vistas à irrigação

Utilizando a condutividade elétrica e o SAR, as águas amostradas foram classificadas de acordo com sua aptidão para o uso na irrigação, conforme o diagrama da US Dept. of Agriculture (CPRM, 1997) apresentado a seguir:

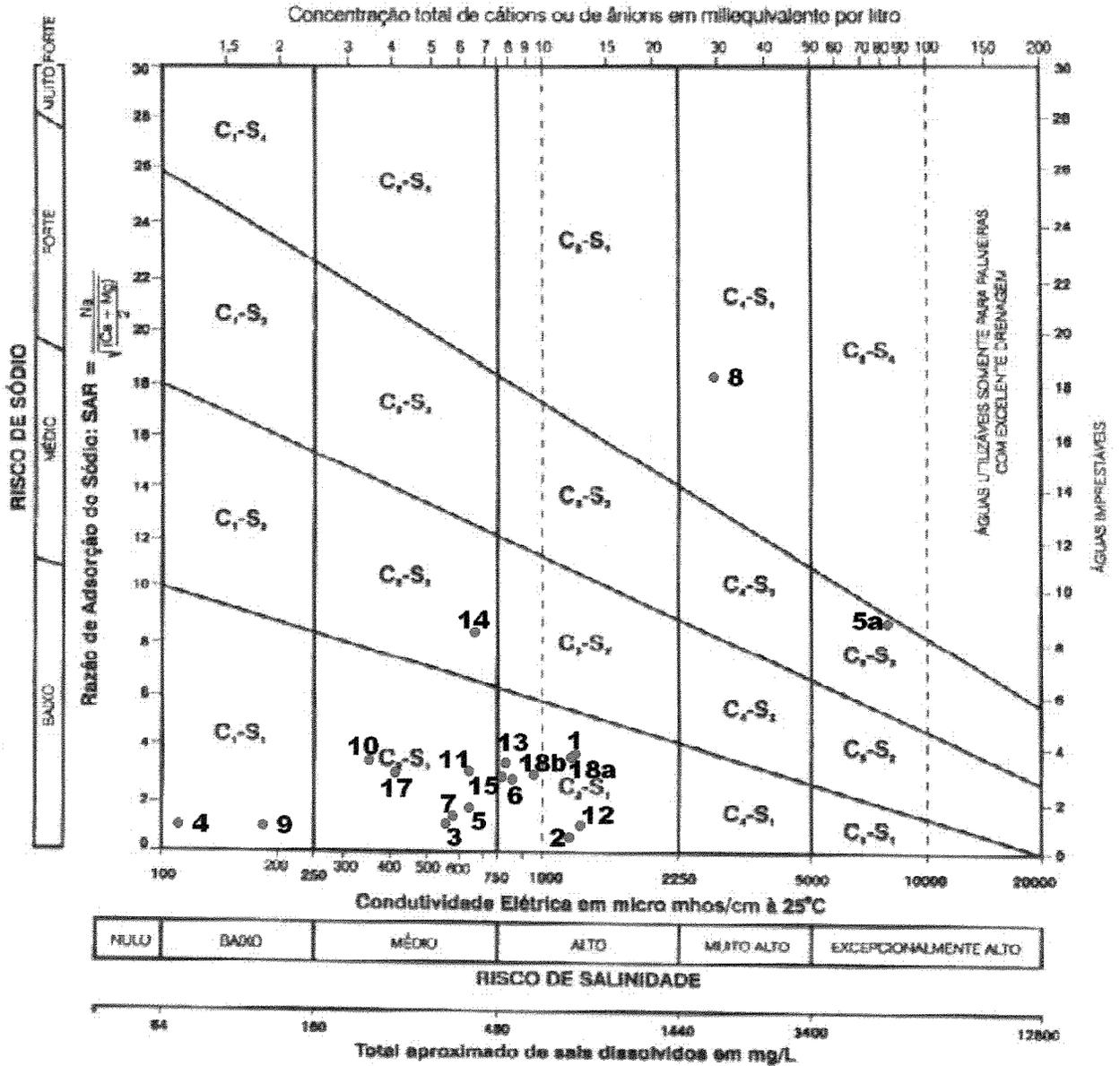


Figura 4.10: Diagrama da US Dept. of Agriculture (CPRM, 1997) com a plotagem dos pontos da campanha de maio de 2002.

Os resultados concentraram-se nos campos C₂-S₁ e C₃-S₁, caracterizados por águas de salinidade média a alta e fracamente sódicas, contrastando com a situação da campanha do IAA em 1983, quando, apesar de mais homogênea, a classificação se concentrava no campo C₁-S₁, caracterizado pela baixa salinidade e baixos teores de sódio.

Para a agricultura, é indicado que sejam cultivados somente vegetais com certa tolerância ao sal, com a condição também dos solos serem bem drenados/lixiviados (CPRM, 1997).

Limitações analíticas - Avaliação do erro da análise

A fim de considerar os resultados das análises fidedignos, foi feita uma avaliação desses resultados através do cálculo do erro da análise. O cálculo do erro de uma análise é baseado no princípio de que o somatório da concentração de cátions deve ser aproximadamente igual ao somatório da concentração de ânions (CPRM, 1998). O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro *e* desta análise. O coeficiente é calculado por:

$$e\% = \left| \frac{r \sum p - r \sum n}{r \sum p + r \sum n} \right| \times 100 \quad (\text{Equação 4.5 – Extraída de CPRM, 1997})$$

onde:

$r \sum p$ = concentração total dos cátions em miliequivalente por litro (meq/l)

$r \sum n$ = concentração total dos ânions em miliequivalente por litro (meq/l)

Em CPRM (1997) é considerada correta uma análise cujo coeficiente de erro não ultrapassa o limite de 10%. Já Custódio & Llamas *apud* CPRM (1997), calculam o erro prático (Ep) a partir da Equação 4.6 abaixo, levando também em consideração limites de condutividade elétrica, apresentados na Tabela 4.8.

$$Ep (\%) = \left| \frac{\sum p - r \sum n}{\sum p + r \sum n} \right| \times 200 \quad (\text{Equação 4.6 – Extraída de CPRM, 1997})$$

TABELA 4.8
 RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE) E O ERRO PERMITIDO, POR
 CUSTÓDIO & LLAMAS (1983), *apud* CPRM (1997)

CE ($\mu\text{S} / \text{cm}$)	50	200	500	2.000	>2.000
Erro Permitido (%)	30	10	8	4	<4

Fonte: Extraída de CPRM, 1997.

Os resultados da avaliação das análises foram insatisfatórios. Os erros mostram-se acima dos limites, tanto quando calculados pela técnica metodológica CPRM, quanto pela técnica de CUSTÓDIO & LLAMAS, como pode ser observado no Anexo 3 (Tabela de erros).

Estes altos valores de erro podem representar um erro analítico, um erro de cálculo, ou a presença de íons em boa quantidade, que não os elementos maiores, não analisados. Entretanto, com a finalidade de se aproveitar alguns resultados de análises, usou-se outro artifício, a correlação entre ânions e cátions. Esta ferramenta utiliza as matrizes dos resultados destes íons, determinando a afinidade que as mesmas possuem entre si. Tal correlação pode chegar a um valor máximo de 1 (um), caso a afinidade seja total. A Tabela 4.9 a seguir mostra a correlação entre os ânions e os cátions.

TABELA 4.9
CORRELAÇÃO ENTRE ÂNIONS E CÁTIONS

Ânion\Cátion	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Fe _{total}
Cl ⁻	0,98967	0,70071	0,83403	0,85233	-0,1018
SO ₄ ⁻²	0,79354	0,73325	0,96258	0,96976	-0,09
HCO ₃ ⁻	-0,2275	0,18706	-0,1193	-0,145	0,00616
CO ₃ ⁻²	-0,0779	0,11454	-0,0107	-0,0236	0,04948
N _{total}	-0,164	0,40508	-0,0394	-0,0587	0,82497

Fonte: Do autor.

A tabela acima demonstra coerência na correlação entre os valores de alguns íons, indicando uma possível associação entre eles. Mesmo com erros altos, as análises apontam apenas **indícios e tendências hidroquímicas** na área em apreço, e não a contaminação propriamente.

4.3 Fato mais Recente

No dia 29 de março de 2003 ocorreu um acidente ambiental na Indústria Cataguases de Papel Ltda., localizada no Município de Cataguases, Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. O acidente caracterizou-se pelo rompimento de uma das barras de contenção da lagoa de efluentes na área da empresa e consecutivo vazamento destes resíduos, vazamento este que as autoridades não souberam precisar o volume, porém, grande o suficiente para atingir a rede de drenagem da região.

O primeiro corpo atingido foi o córrego Cágado, pertencente à sub-bacia do rio Pomba (em Minas Gerais) que, por sua vez, é um dos mais importantes afluentes pela margem esquerda do rio Paraíba do Sul (no Rio de Janeiro). Pouco tempo após chegar ao córrego, a carga contaminante atingiu o rio Pomba e, consecutivamente, o rio Paraíba do Sul, resultando numa enorme mancha de cor escura ao longo destes corpos hídricos.

Segundo BRANT (2003), a FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais) coletou amostras três dias após o acidente em quatro pontos situados entre a lagoa de efluentes até a confluência do rio Pomba com o Paraíba do Sul. Tais amostras foram analisadas nos laboratórios do CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais) e os resultados mostraram que cerca de 90% do material seria composto por matéria orgânica proveniente da decomposição de madeira utilizada para a fabricação de papel, sendo os 10% restantes constituídos por material inorgânico, principalmente sódio. A grande concentração de matéria orgânica levaria ao aumento da DBO nas águas destes corpos, ocasionando a mortandade de peixes a jusante. Segundo o autor supracitado, “o pH das amostras coletadas não está muito fora da normalidade”.

Como providências, a Agência Nacional de Águas determinou a abertura de comportas das barragens acima do encontro do rio Pomba com o rio Paraíba do Sul, para adicionar um volume total de 158m^3 de água por segundo ao fluxo normal dos dois rios, com os objetivos de aumentar a velocidade de escoamento e acelerar a diluição dos poluentes.

A COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) direcionou caminhões-pipa para o abastecimento de água nas cidades do noroeste do Estado do Rio de Janeiro; disponibilizou cinco especialistas para uma avaliação da situação das barragens utilizadas pela empresa para armazenar rejeitos químicos; fez o monitoramento da qualidade das águas da bacia; e se engajou na descontaminação das estações de tratamento dos municípios do Rio de Janeiro.

A Coordenadoria de Defesa Civil responsabilizou-se por obras emergenciais para conter o vazamento, e a avaliação dos riscos de rompimento no segundo reservatório; Também auxiliou no abastecimento de água potável das populações ribeirinhas em Minas Gerais.

Segundo a FEAM, o órgão ambiental sequer tinha conhecimento da existência dos dois reservatórios de resíduos. A Indústria Cataguases de Papel, que passava por um licenciamento corretivo, não comunicou suas existências, alegando posteriormente que os mesmos não estavam mais em operação. Impressionante é o fato da fiscalização não ter notado a presença de duas lagoas de efluentes com volumes individuais capazes de causarem um impacto como o que aconteceu quando apenas uma delas se rompeu.

Após a suspensão das atividades da empresa até a eliminação das inconformidades ambientais direta e indiretamente, inclusive a recuperação ambiental da área, estudam-se agora penalidades financeiras através de multas, além de inquérito civil público para apurar as responsabilidades e as causas do acidente.

5 Considerações Finais e Recomendações

O trabalho proposto cumpriu os objetivos iniciais de caracterização hidrogeológica do Aquífero Quaternário Deltaico ao longo da dissertação, e reafirma neste capítulo a localização preferencial para perfuração de poços tubulares profundos, atentando para fatores qualitativos e quantitativos, conforme é descrito a seguir. Além disso, a análise da qualidade da água, relacionada à hidrodinâmica da região, revelou problemas decorrentes de atividades humanas.

Constatou-se que o AQD, localizado na baixada campista, possui uma variação altimétrica de, aproximadamente 13m em toda a sua área (440km²), tendo sido formado por sedimentos associados ao delta do rio Paraíba do Sul, num ambiente costeiro sujeito a transgressões marinhas.

A área é hidrograficamente limitada por dois corpos de grande vulto, o rio Paraíba do Sul, a norte, e a lagoa Feia, a sul. A rede de canais construída pelo extinto DNOS para a drenagem da água de lagos e lagoas da região, a qual pode ser observada na Figura 3.1 (Mapa de pontos da campanha de campo, em maio de 2002), alterou incisivamente o sistema hídrico da região.

A geometria do cristalino foi melhor definida, ressaltando que as falhas estruturais “desenharam” o topo do embasamento cristalino, e possivelmente influem no aporte de água subterrânea do Aquífero Quaternário Deltaico.

O paleoleito do rio Paraíba do Sul é um canal preferencial para a percolação de água a partir do atual leito deste rio, devido possivelmente à qualidade das areias que o constituem, além do porte deste paleocanal. Este possui valores de T , Q/s e K muito acima dos valores encontrados no restante da área. Por este motivo, são sugeridas perfurações ao longo deste “eixo” quando da necessidade de grandes vazões, obviamente observando-se também fatores de viabilidade econômica, como custo da rede adutora ao reservatório da área de interesse de distribuição.

Utilizando o cadastro de dados hidrodinâmicos mais recente, chegou-se à conclusão de que a relação entre o $\log T$ e $\log (Q/s)$ no AQD é regida por

$\log T = 3.3317\log(Q/s) + 0.01$. Porém, é aconselhável a aquisição de mais valores destes parâmetros para se obter uma maior precisão nesta equação.

Devido à complexidade dos processos de sedimentação em aquíferos deste tipo, à pouca profundidade dos furos de trado, ao espaçamento entre eles, aliado à grande extensão da área, não foi possível executar uma correlação geológica com os perfis estratigráficos em anexo.

Apesar dos resultados de coeficientes de erro das análises químicas não mostrarem confiabilidade, as correlações entre íons foram bem satisfatórias, o que se tornou um incentivo para a utilização dos resultados de tais análises como indícios hidroquímicos.

Como limitação do programa Surfer 6.0, é possível indicar a falta de sensibilidade do programa aos condicionantes físicos e hidrogeológicos da área, os quais deveriam ser considerados durante as interpolações, evitando erros como o traçado de curvas potenciométricas sobre o Paraíba do Sul, por exemplo. Por outro lado, uma vantagem que o Surfer apresenta, é a boa aplicabilidade para regiões que possuam pouca declividade, além da simplicidade de sua operação.

Quanto ao aspecto qualitativo, é notada a presença freqüente de ferro de origem natural, superficialmente, em praticamente toda a área. Porém, sua concentração diminui ou mesmo desaparece naturalmente à profundidade, onde também é possível, por meio de cimentações mais profundas nas construções dos poços tubulares, obter um decréscimo destes índices. Também se encontram representativamente anômalos os indícios dos íons cloreto, nitrato, potássio, sódio e sulfato.

O clima semi-úmido, juntamente com processos agrícolas praticados na área e a influência marinha, incrementam a salinização do solo, como é possível notar nos mapas de condutividade elétrica e de razões iônicas (nos quais, os índices apontados encontram-se maiores do que os valores relacionados à água marinha, referidos na literatura). Recomenda-se o mapeamento da fertirrigação, assim como dos outros processos fertilizantes praticados na área, objetivando-se definir com mais exatidão a relação entre estes e a salinização da baixada campista.

Os dados de condutividade elétrica da campanha piezométrica do IAA (1983) variaram de 0,08 a 2,50mmhos/cm. A distribuição dos maiores valores (acima de 0,90mmhos/cm) situa-se exatamente a sul/sudeste da área, na região de descarga do aquífero, próximo a Ponta Grossa dos Fidalgos. Apesar da campanha piezométrica do IAA obter informações apenas sub-superficiais, pois as profundidades dos piezômetros estão em torno de poucos metros, raramente chegando a uma dezena, a zona de maior condutividade elétrica coincide com altos índices de cloreto, encontrados no poço tubular de Ponta Grossa dos Fidalgos, com profundidade de 61m. A salinidade das águas do freático, assim como a apresentada pelo poço 24-PGF, são indicativos de processos de salinização.

De maneira geral, as atividades antrópicas desenvolvidas, associadas às condições físicas específicas da área, engendram um quadro delicado: um potencial poluidor por cargas orgânicas na porção norte da área (na região de maior concentração demográfica); processos agrícolas nas áreas rurais; e uma intrusão salina a sul/sudeste, tudo isto, aliado a um clima semi-úmido, com déficit hídrico.

Mesmo constituindo uma série temporal pequena, os mapas potenciométricos da campanha do IAA em 1983 apresentam uma não variação do nível estático na região da recarga (porção norte da área). Porém, na parte sudeste (região de descarga do aquífero), beirando a lagoa Feia, nota-se uma variação singular do nível estático.

Acompanhando a tendência de variação do nível estático na região de descarga, os índices pesquisados estão sujeitos a mudanças de concentrações no decorrer do ciclo hidrológico.

O acidente ocorrido no Município de Cataguases em março de 2003, cujas conseqüências se alastraram “rio abaixo”, mobilizou ações corretivas entre os governos do Estado de Minas Gerais, do Estado do Rio de Janeiro e o governo federal para atender às populações mais atingidas em ambos os Estados. Providências corretivas são, reconhecidamente, muito mais dispendiosas, desgastantes e morosas quanto à real necessidade, e nem sempre tão eficazes

quanto ações preventivas. Este fato demonstra, além da irresponsabilidade ambiental por conta de parte da iniciativa privada, a fragilidade do sistema de fiscalização ambiental em Minas Gerais, mal este que, infelizmente, não assola apenas este Estado da Federação.

É muito possível que eventos catastróficos deste tipo, assim como as contaminações “silenciosas” que degradam as águas do rio Paraíba do Sul diariamente (emissários clandestinos de efluentes domésticos e despejos ilegais de resíduos industriais não tratados) influenciem na qualidade da água do Aquífero Quaternário Deltaico. Deste modo, fica proposto um estudo sobre a mobilidade de compostos contaminantes a partir da zona de recarga do AQD, esta importante unidade hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro.

6 Referências Bibliográficas

BRANT, A. Acidente ambiental é prioridade número um de Aécio Neves. **Portal Minas**, Minas Gerais, abr. 2003. Disponível em: <<http://www.mg.gov.br>>. Acesso em: 03 abr.2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL - Levantamento de Recursos Naturais: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, e Uso Potencial da terra**. Folha Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1983.

BRASIL. **Portaria N° 1.469, de 29 de Dezembro de 2000**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Ministério da Saúde, Brasília, DF, DO n° 1-E, seção 1, p. 19, jan. 2001.

CAETANO, L.C. **Água Mineral em Campos dos Goytacazes (RJ): uma opção para o abastecimento**. 2000. 163p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CARVALHO, A.R. **Relatórios Técnicos (SAEC - SUCESA - SANERJ - CEDAE)**. Campos dos Goytacazes, 1998. 68 p.

CEDAE. Companhia Estadual de Águas e Esgotos. ENCO. Engenharia, Consultoria e Planejamento Ltda.. **Relatório referente à execução dos serviços técnicos especializados de água subterrânea no Município de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro. Anexo “A” – Inventário dos Poços na Região de Campos**. Rio de Janeiro, 1980. 156 p.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. CPRM. Fortaleza, 1997. 388 p.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Mapa de Sombra do Campo Magnético Total do Estado do Rio de Janeiro**. Escala 1:250.000, Folhas Campos e Macaé. CPRM. Rio de Janeiro, 1998.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio de Janeiro**. Escala 1:400.000. CPRM. Rio de Janeiro, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Mapa Hidrogeológico da América do Sul**. Escala 1:5.000.000. DNPM. Rio de Janeiro, 1996.

FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**, 3rd Ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1994. 691 p.

FONSECA, M.J.G. **Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro**. DNPM. Rio de Janeiro, 1998. 141 p.

FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. **Mapa de Uso do Solo**. Carta Campos, Escala 1:250.000. CIDE, Projeto GEROE, ref. 2685. CD-ROM. Rio de Janeiro, 1996.

FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. **CIDE, Território**. CIDE. Rio de Janeiro, 1997. 80 p.

GAMA JR., E. G. **Sistemas Depositionais e Modelo de Sedimentação das Formações Campos e Emborê, Bacia de Campos, Rio de Janeiro, Brasil**. 1977. 2v. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça da cana no aquífero Bauru.** 1989. 92p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.** 1985. Paper 2254. U.S. Geological Survey Water-Supply. United States Government Printing Office. 263 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002. Apresenta indicadores conjunturais, populacionais, econômicos, geocientíficos e geopolíticos. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: mai. 2002.

LAMEGO, A. R. **Geologia das quadriculas de Campos, São Tomé, Lagoa Feia e Xexé.** DNPM. Boletim 154. Rio de Janeiro, 1955. 60 p.

MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J-M., DOMINGUEZ, J.M.L., e AZEVEDO, A. E. G. **Evolução da Planície costeira do Rio Paraíba do Sul (RJ) durante o Quaternário: influência das flutuações do nível do mar.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIII., 1997, Rio de Janeiro. **Anais Vol. I...** Rio de Janeiro. p. 84-97.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO e INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ALCOOL. **Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana de Açúcar na Região Norte-Fluminense** - 1983. PROJIR. MIC & IAA Relatórios Técnicos sobre Hidrologia, Geologia e Hidrogeologia, Pedologia, Climatologia e Síntese dos Estudos Básicos, Mapas 1:10.000 e Anexos de dados.

NOGAARD, R. B. A Improvisação do Conhecimento Discordante. **Em Pauta: Ambiente & Sociedade** Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais da UNICAMP, Campinas, Ano I, N° 2, 1° semestre, p. 25-41, 1998.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.. **Final Geological Completion Report CSTst-1-RJ (Cabo de São Tomé)**. Rio de Janeiro, 1960.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.. **Mapa em Profundidade de Topo do Embasamento ou Basalto**. Escala 1:100.000. DESUD/DIRSUL. Rio de Janeiro, 1987.

RIO DE JANEIRO (Estado), Secretaria de Estado de Energia, Indústria Naval e Petróleo, Departamento de Recursos Minerais. Prefeitura de Campos dos Goytacazes, Companhia de Desenvolvimento do Município de Campos. **Projeto Potencial Mineral de Campos dos Goytacazes - Rochas Ornamentais**. Campos dos Goytacazes, 1999. 67 p.

SÃO PAULO (Estado), Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Secretaria de Recursos Hídricos. IG, CETESB, DAEE. **Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1997. 1 v.

SCHALLER, H. Estratigrafia da Bacia de Campos. In: CONGRESSO DE GEOLOGIA, XXVII, v. 3, 1973, Aracaju. **Anais...** Sergipe: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973. p. 247-258.

SILVA, C.G. **Estudo da Evolução Geológica e Geomorfológica da Região da Lagoa Feia, RJ**. 1987. 160p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ).

SUGUIO, K. Roteiro de Excursão Geológica à Região do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (Rio de Janeiro). In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, IV, Publicação Especial n.º 2, 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1981.

SERRANA. Calagem na cana-de-açúcar. **Serrana Fertilizantes**, Boletins técnicos. São Paulo. Disponível em:
<www.serrana.com.br>. Acesso em: jun. 2003.

TUCKER, M. E. **Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks**, Malden: Blackwell Science, 2001. 262 p.

7 Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e Documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2000.

IRITANI, M.A. **Modelação Matemática Tridimensional para a Proteção das Captações de Água Subterrânea**. 1999. 200 p. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

RIO DE JANEIRO (Estado), Secretaria de Estado de Energia, Indústria Naval e Petróleo, Departamento de Recursos Minerais. Prefeitura de Campos dos Goytacazes, Companhia de Desenvolvimento do Município de Campos. **Projeto Potencial Mineral de Campos dos Goytacazes – Caracterização das Áreas Produtoras de Areia de Uso na Construção Civil no rio Paraíba do Sul, Município de Campos dos Goytacazes**. Niterói, RJ, 2000. 47 p.

SERRANA. Fertirrigação. **Serrana Fertilizantes**, Boletins técnicos. São Paulo. Disponível em: <www.serrana.com.br>. Acesso em: jun. 2003.

ANEXO 1
CAMPANHAS PIEZOMÉTRICAS EM 1983

ANEXO 1 (a)
DADOS DAS CAMPANHAS PIEZOMÉTRICAS DO MIC & IAA (1983)

Piezômetro IAA	Coordenadas UTM		Prof.	NA	Prof.	NA	Prof.	NA	Prof.	NA	Prof.	NA	Prof.	NA
	N	E	Em 17.03.83	Em 29.03.83	Em 14.04.83	Em 28.04.83	Em 26.05.83	Em 30.06.83						
2	7598000	247920	2.62	9.87	2.36	10.13	2.17	10.32	2.50	9.99	3.36	9.13	3.53	8.96
3	7594600	249630	2.87	6.24	2.65	6.46	2.34	6.77	2.32	6.79	2.56	6.55	2.78	6.33
4	7598250	246105	2.74	8.38	2.59	8.52	2.41	8.71	2.44	8.68	2.64	8.48	2.88	8.24
6	7592340	243470	2.85	1.99	2.93	1.91	2.88	1.96	2.84	2.00	2.86	1.98	3.02	1.82
7	7596115	251930	2.00	6.68	2.11	6.57	1.72	6.96	1.83	6.85	2.38	6.30	2.73	5.95
11	7585160	252215	4.21	2.02	4.22	2.01	4.16	2.07	4.09	2.14	3.15	3.08	4.19	2.09
12	7585620	259320	3.05	1.58	3.07	1.56	3.04	1.59	3.04	1.59	3.08	1.55	3.12	1.51
14	7581770	257455	2.97	1.14	3.00	1.11	2.93	1.18	2.90	1.21	3.09	1.02	3.15	0.96
20	7586690	262670	3.91	3.24	3.96	3.18	3.89	3.25	3.84	3.30	4.03	3.11	4.05	3.09
21	7591725	262510	2.69	5.38	2.62	5.45	2.50	5.57	2.50	5.57	2.98	5.09	2.80	5.27
22	7592275	268055	1.93	5.31	2.37	4.87	2.20	5.04	1.99	5.25	2.98	4.26	2.67	4.57
31	7585500	266800	3.02	1.82	3.09	1.75	3.06	1.78	3.02	1.82	3.07	1.77	3.09	1.75
39	7579175	260655	2.68	1.13	2.70	1.11	2.71	1.10	2.72	1.09	2.76	1.05	2.77	1.04
47	7577035	262980	3.21	1.16	3.22	1.15	3.18	1.19	3.15	1.22	3.28	1.09	3.17	1.20
50	7574750	265060	2.92	0.71	2.93	0.70	2.95	0.68	2.97	0.66	3.99	-0.36	3.01	0.62
53	7572850	249255	2.47	3.59	2.56	3.50	2.34	3.72	2.32	3.74	2.38	3.68	2.44	3.62
54	7572575	256250	3.03	1.01	2.99	1.05	2.81	1.23	2.74	1.30	2.78	1.26	2.87	1.17
61	7570965	259850	1.72	0.55	1.75	0.52	1.44	0.83	1.31	0.96	1.28	0.99	1.66	0.61
90	7574960	252840	1.55	0.55	1.61	0.49	1.32	0.78	1.15	0.95	1.25	0.85	1.30	0.80

Fonte: MIC & IAA (1983)

Profundidade da água no piezômetro e nível d'água (NA) em metros

Medido em 15.04.83

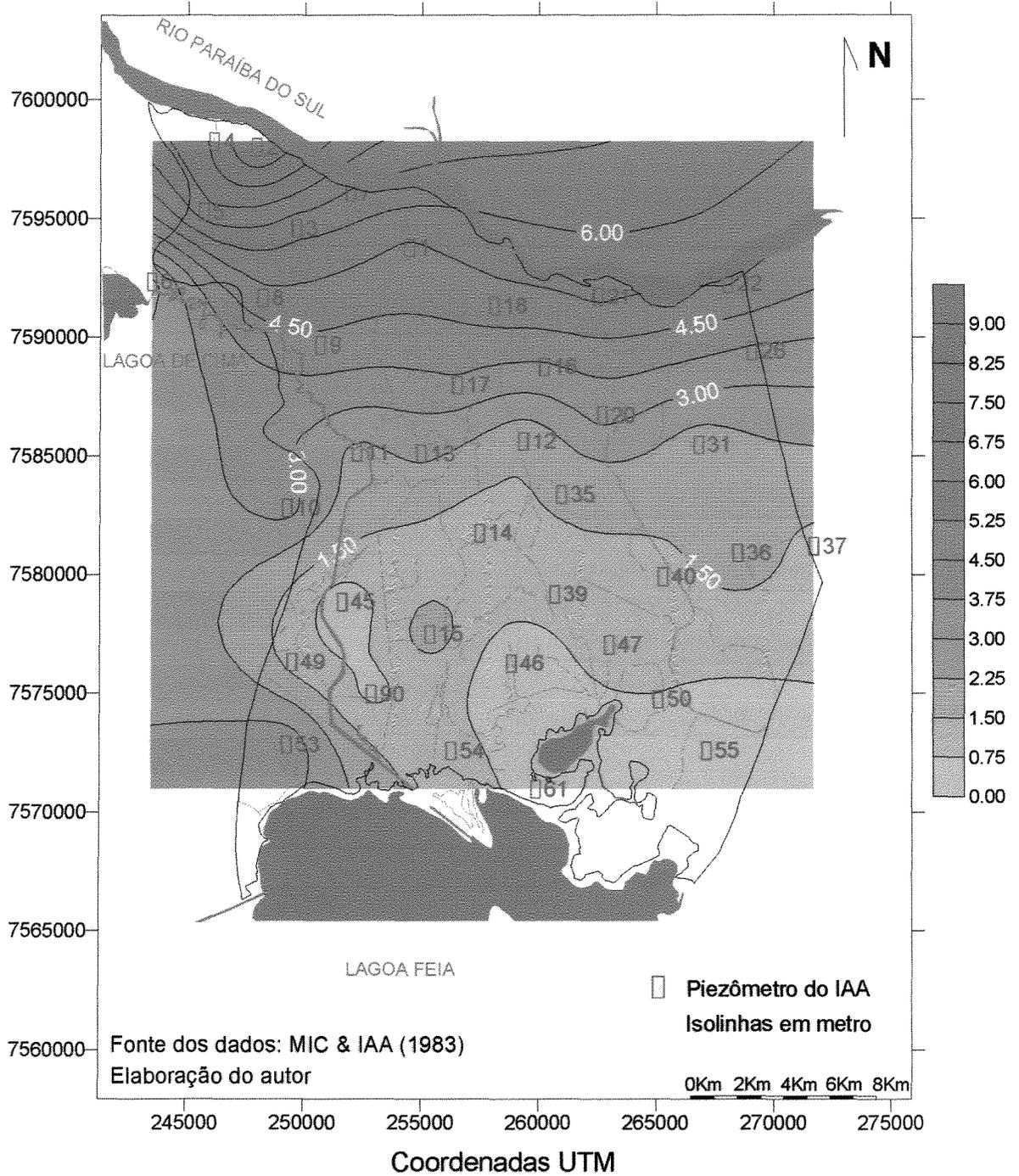
Medido em 30.04.83

Medido em 28.05.83

Medido em 02.07.83

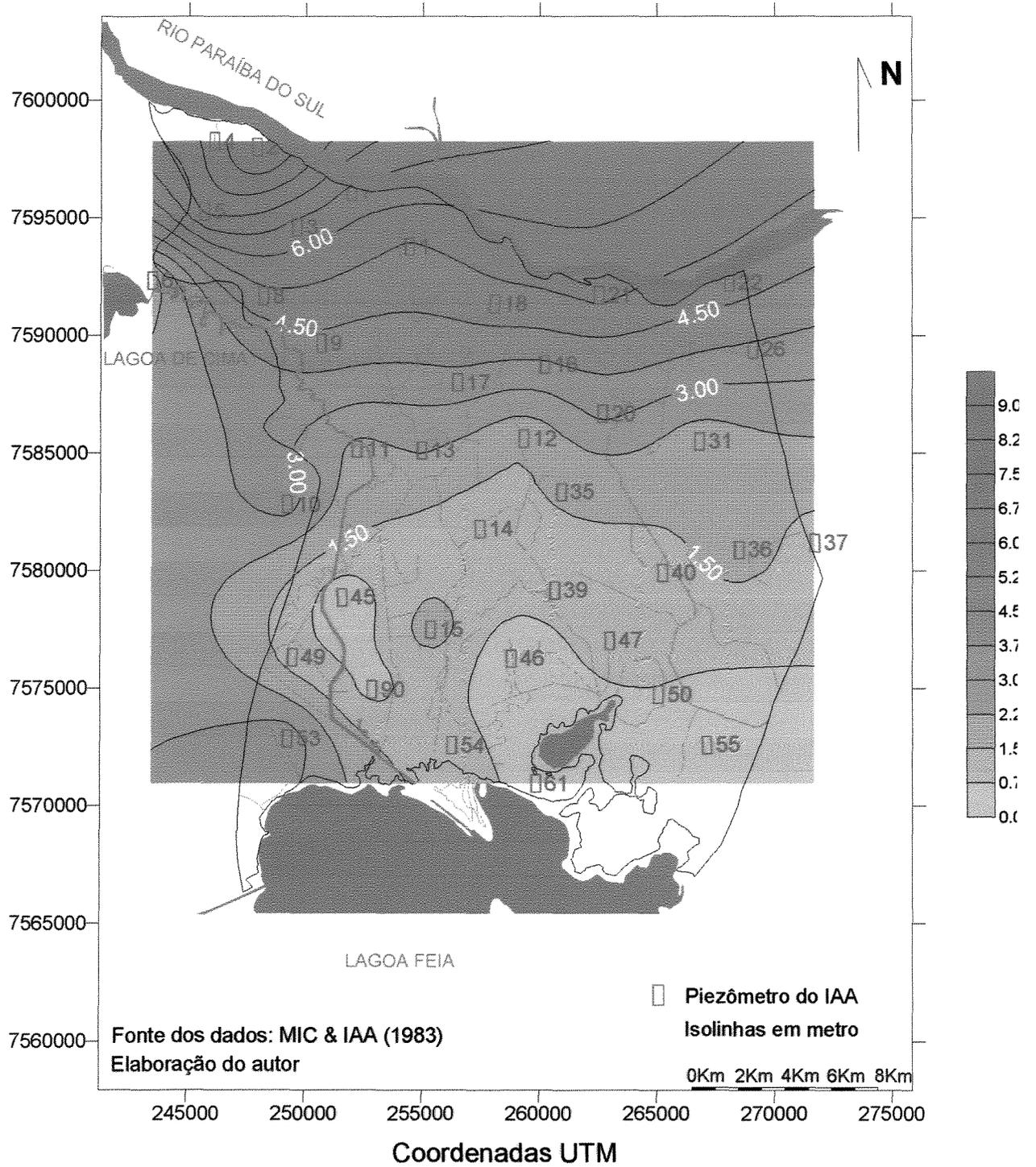
ANEXO 1 (b)

Campanha piezométrica em 17 de março de 1983



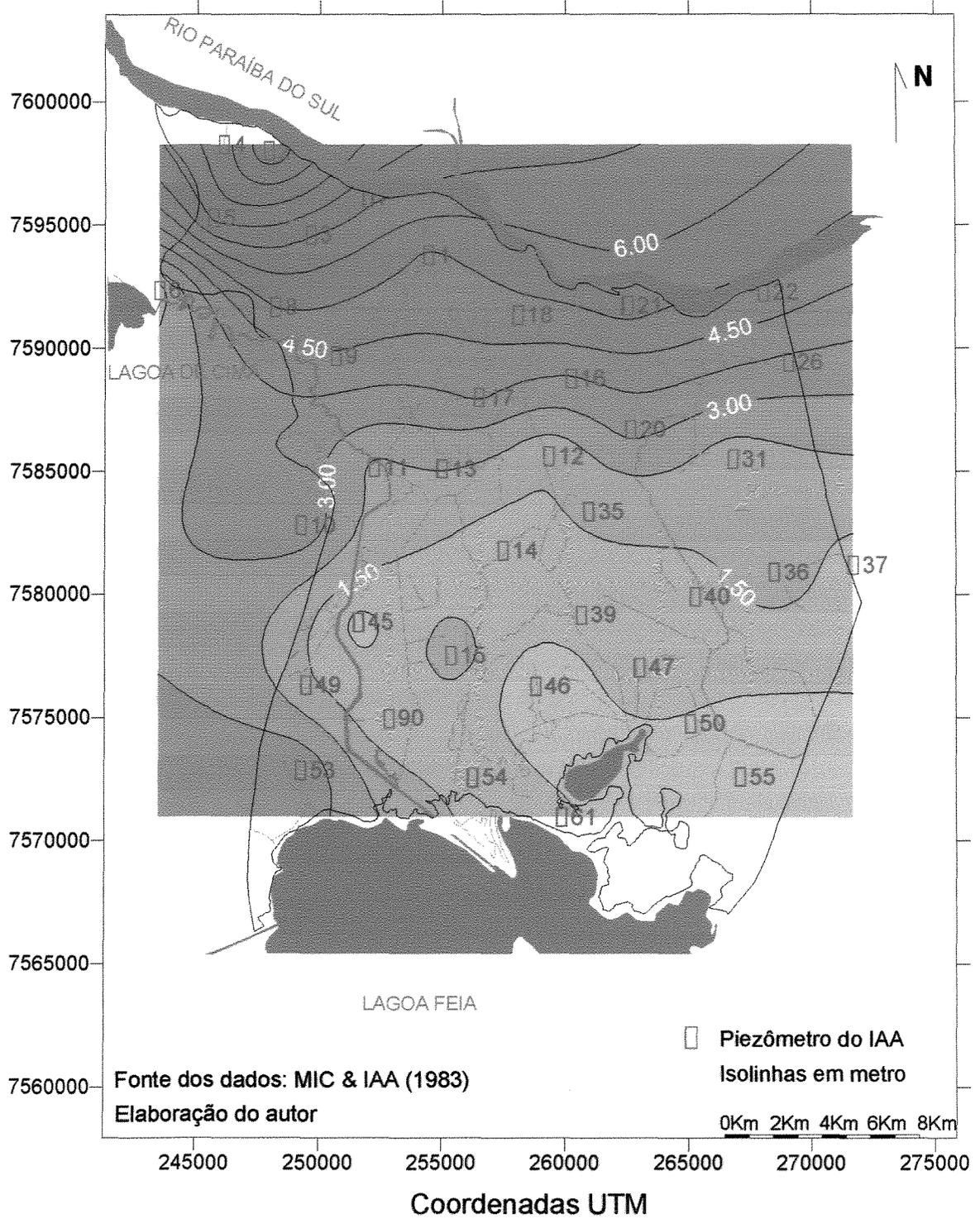
ANEXO 1 (c)

Campanha piezométrica em 29 de março de 1983



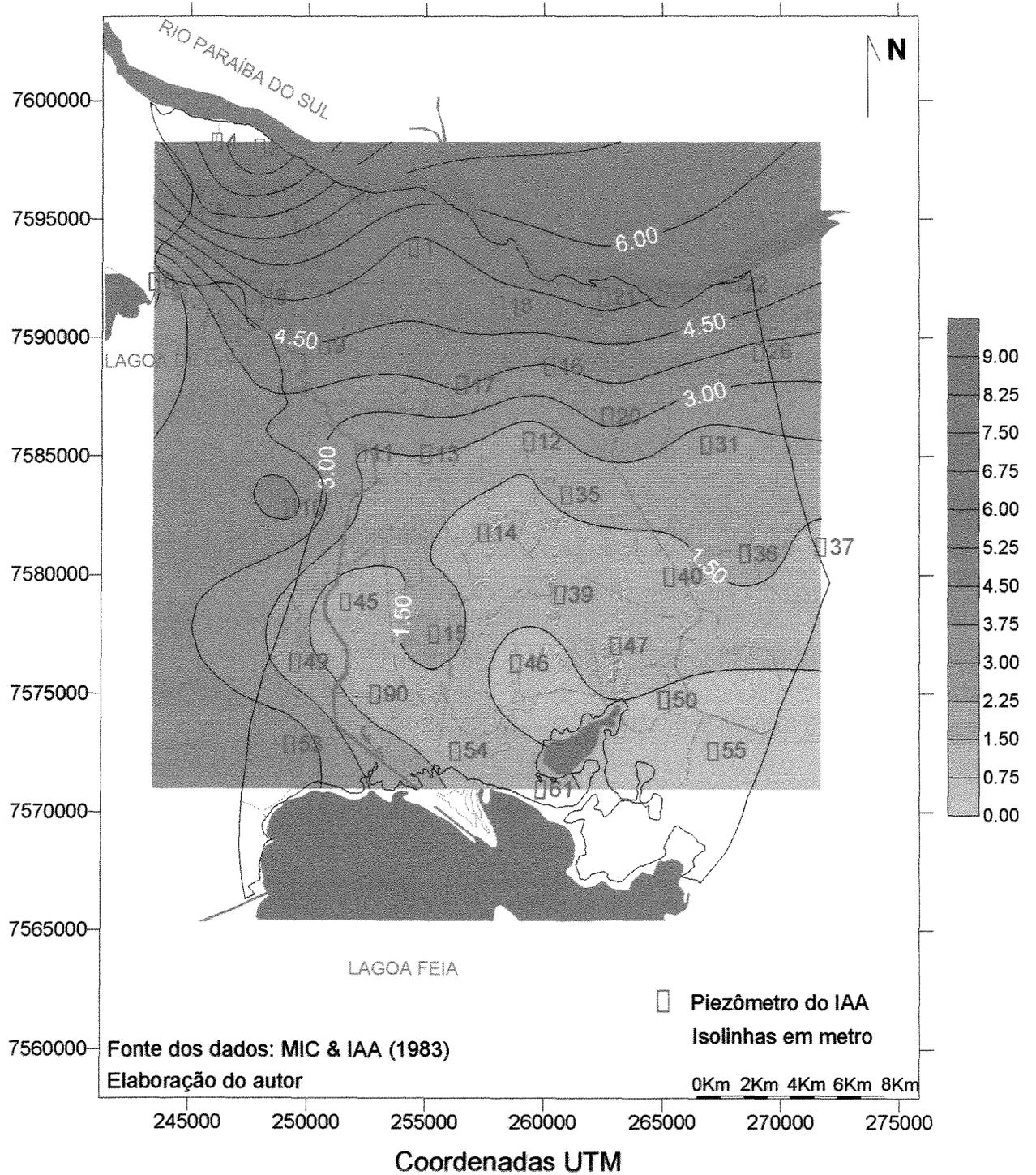
ANEXO 1 (d)

Campanha piezométrica em 14 de abril de 1983



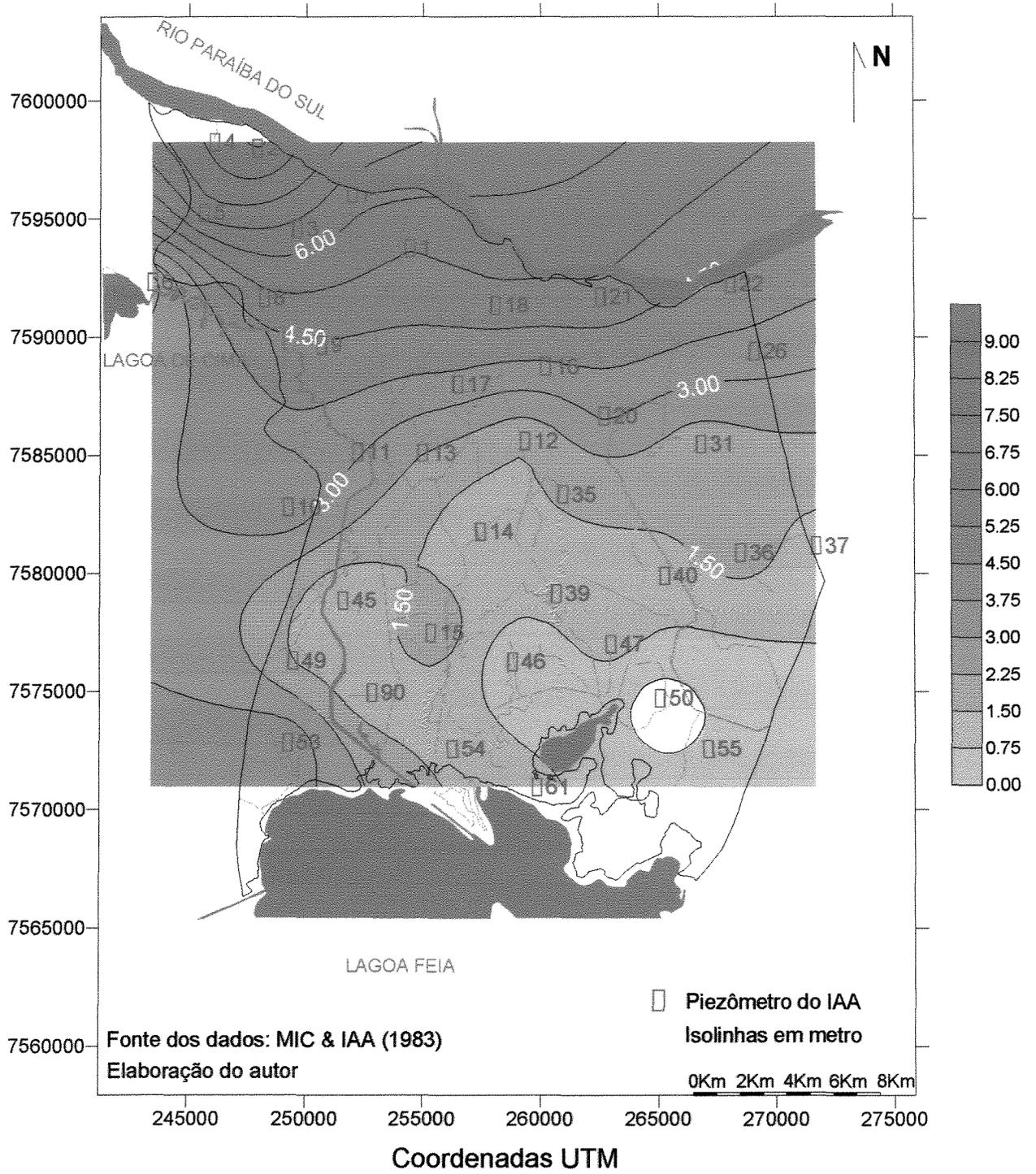
ANEXO 1 (e)

Campanha piezométrica em 28 de abril de 1983



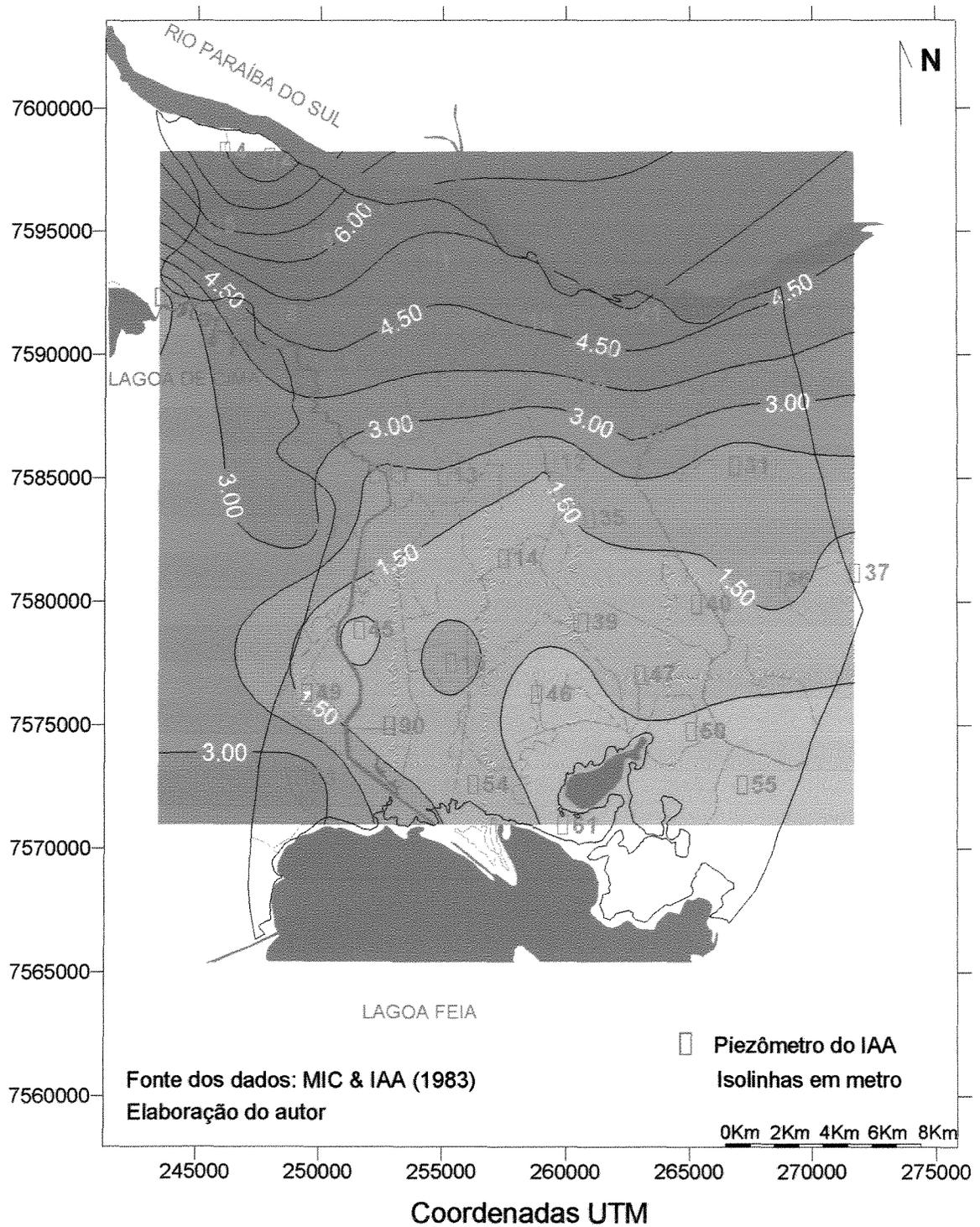
ANEXO 1 (f)

Campanha piezométrica em 26 de maio de 1983



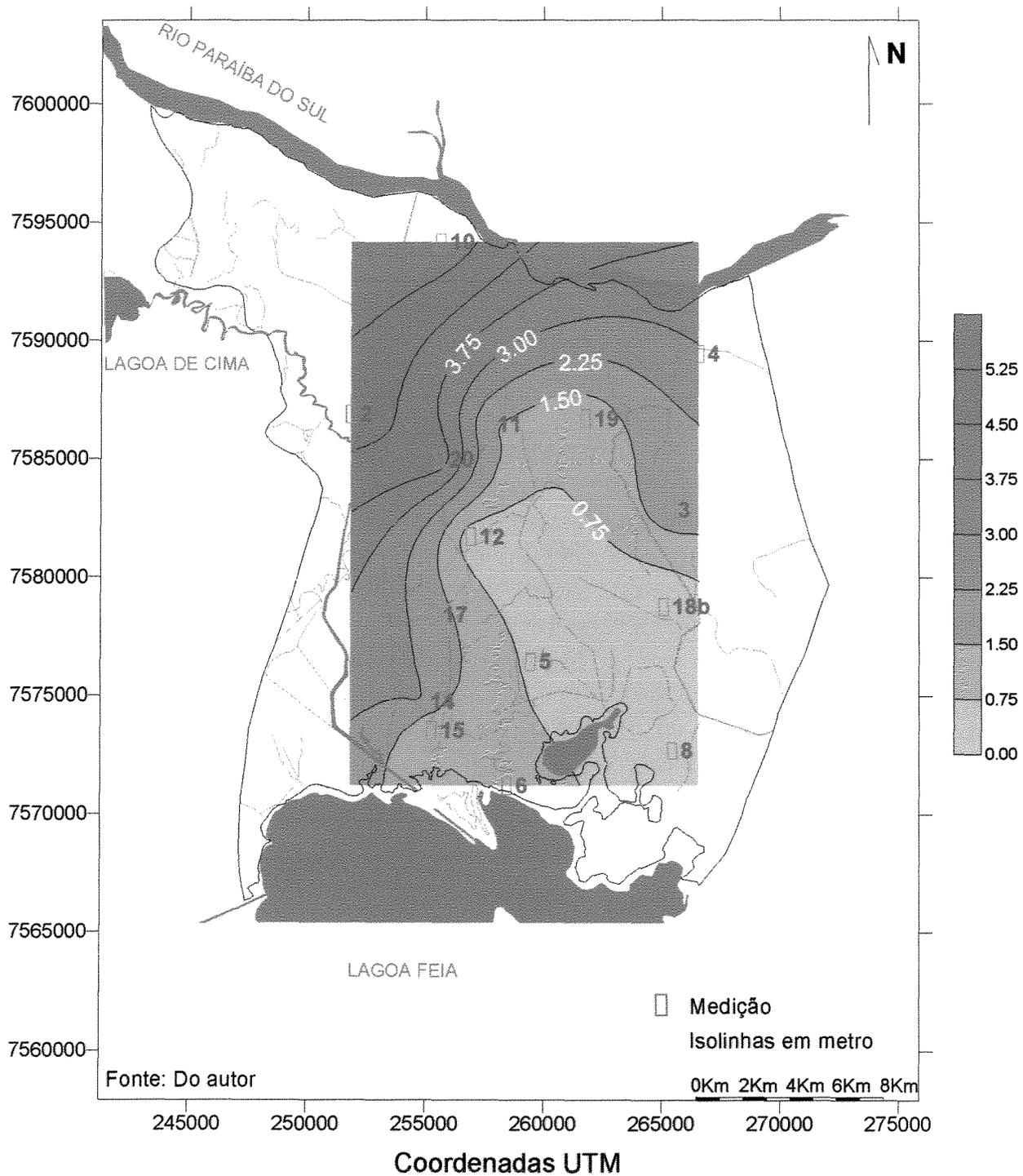
ANEXO 1 (g)

Campanha piezométrica em 30 de junho de 1983



ANEXO 2

Campanha piezométrica em maio de 2002



ANEXO 3
TABELA DE ERROS

Ponto	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Fe _{total}	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁺²	Cl ⁻	CO ₃ ⁻²	Soma Cátions	Soma Ânions	Erro %	CE	Erro Permitido (Llamas)	Erro Llamas
1	8,64	15,40	3,44	6,30	0,0036	1,01	6,265	8,0088	0,17	33,78	15,45	37	1,37	até 8 %	74
2	0,88	210,60	3,18	2,38	3,5299	1,31	0,526	7,5068	0,10	220,56	9,44	91	1,28	até 8 %	183
3	1,76	31,90	1,82	1,19	0,0322	0,63	1,215	2,0022	0,03	36,70	3,87	80	0,55	até 8 %	161
4	1,04	93,60	1,88	2,08	42,122	#	0,085	#	#	140,72	#	#	0,11	até 30%	#
5	2,42	7,90	1,88	1,54	0,2255	0,25	2,881	4,0044	0,00	13,96	7,13	32	0,64	até 8 %	64
5a	50,10	327,60	26,91	42,80	0,043	0,20	45,580	63,0690	0,00	447,47	108,84	60	8,71	até 4%	121
6	4,32	15,40	2,60	2,50	0,4081	0,50	3,490	6,5086	0,00	25,22	10,49	41	0,86	até 8 %	82
7	2,42	26,40	2,01	1,09	0,1217	0,58	1,215	4,5064	0,00	32,04	6,30	67	0,57	até 8 %	134
8	28,28	15,20	1,56	3,21	1,117	0,13	0,056	39,0430	0,00	49,36	39,22	11	3,01	até 4%	22
9	0,60	1,20	0,46	0,32	0,0251	0,20	0,085	2,0022	0,00	2,60	2,28	6	0,19	até 30%	12
10	2,53	2,90	0,32	0,69	1,8473	0,34	0,628	2,5042	0,00	8,28	3,47	40	0,36	até 10%	81
11	3,64	41,80	1,04	1,13	0,0036	0,31	0,849	5,0055	0,00	47,61	6,16	77	0,63	até 8 %	154
12	2,20	18,60	3,77	5,76	5,6707	0,00	15,330	2,5042	0,00	36,00	17,83	33	1,25	até 8 %	67
13	4,42	15,60	1,95	1,84	0,0215	0,95	0,235	5,5046	0,00	23,83	6,68	56	0,78	até 8 %	112
14	7,54	4,50	0,65	1,08	0,6014	0,49	0,926	7,5068	0,00	14,37	8,92	23	0,68	até 8 %	46
15	4,42	13,80	3,06	2,38	0,0143	0,07	5,375	4,0044	0,00	23,67	9,44	42	0,8	até 8 %	85
17	2,42	34,10	0,65	0,70	0,0644	0,23	1,129	3,0033	0,00	37,93	4,36	79	0,42	até 10%	158
18a	6,51	19,80	3,38	2,02	0,1790	0,47	1,129	12,5150	0,10	31,89	14,21	38	1,21	até 8 %	76
18b	4,46	33,00	2,02	1,26	0,0358	0,25	2,011	7,0077	0,00	40,77	9,26	62	0,91	até 8 %	125

Obs.: Íons em meq/l.
Fonte: Do autor.

ANEXO 4

TABELA DE VALORES-LIMITE

Ponto	pH *	Na	K **	Ca **	Mg **	Fe _{total}	HCO ₃	SO ₄	Cl	N _{total}	CO ₃
1	8,4	198,6	15,4	68,9	76,6	0,1	61,6	301,2	284,0	5,1	5,1
2	7,5	20,2	210,6	63,7	28,9	98,6	79,9	25,3	266,2	59,5	3,0
3	7,9	40,4	31,9	36,4	14,4	0,9	38,4	58,4	71,0	4,2	0,9
4	6,5	23,9	93,6	37,6	25,2	1176,6	#	4,1	#	77,5	#
5	6,6	55,6	7,9	37,6	18,7	6,3	15,2	138,5	142,0	2,7	0,0
5a	6,3	1151,7	327,6	539,2	520,6	1,2	12,2	2191,2	2236,5	4,2	0,0
6	7,3	99,3	15,4	52,1	30,3	11,4	30,5	167,8	230,8	5,4	0,0
7	7,5	55,6	26,4	40,2	13,2	3,4	35,3	58,4	159,8	3,0	0,0
8	6,6	650,1	15,2	31,2	39,0	31,2	7,9	2,7	1384,5	6,3	0,0
9	7,5	13,7	1,2	9,2	3,8	0,7	12,2	4,1	71,0	1,2	0,0
10	7,2	58,1	2,9	6,4	8,3	51,6	20,7	30,2	88,8	5,1	0,0
11	7,1	83,6	41,8	20,8	13,7	0,1	18,9	40,8	177,5	2,7	0,0
12	4,7	50,5	18,6	75,5	70,0	158,4	0,0	737,0	88,8	8,1	0,0
13	7,2	101,6	15,6	39,0	22,3	0,6	57,9	11,3	195,2	2,7	0,0
14	6,7	173,3	4,5	13,0	13,1	16,8	29,8	44,5	266,2	1,8	0,0
15	5,7	101,6	13,8	61,3	28,9	0,4	4,2	258,4	142,0	1,8	0,0
17	6,2	55,6	34,1	13,0	8,5	1,8	14,0	54,3	106,5	3,0	0,0
18a	7,0	149,6	19,8	67,7	24,5	5,0	28,6	54,3	443,8	4,5	3,0
18b	6,5	102,5	33,0	40,4	15,3	1,0	15,2	96,7	248,5	2,7	0,0
Limites	6,5-8,5 *	200	<10 **	10 a 100 **	1 a 40 **	0,3	#	250	250	10 (nitrito)	#

X	Limite estabelecido pela Portaria 1469 / 2000 do Ministério da Saúde.
X *	Limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde.
X **	Concentrações comuns, conforme CPRM, 1997.
xx,x	Valor acima dos limites de potabilidade.

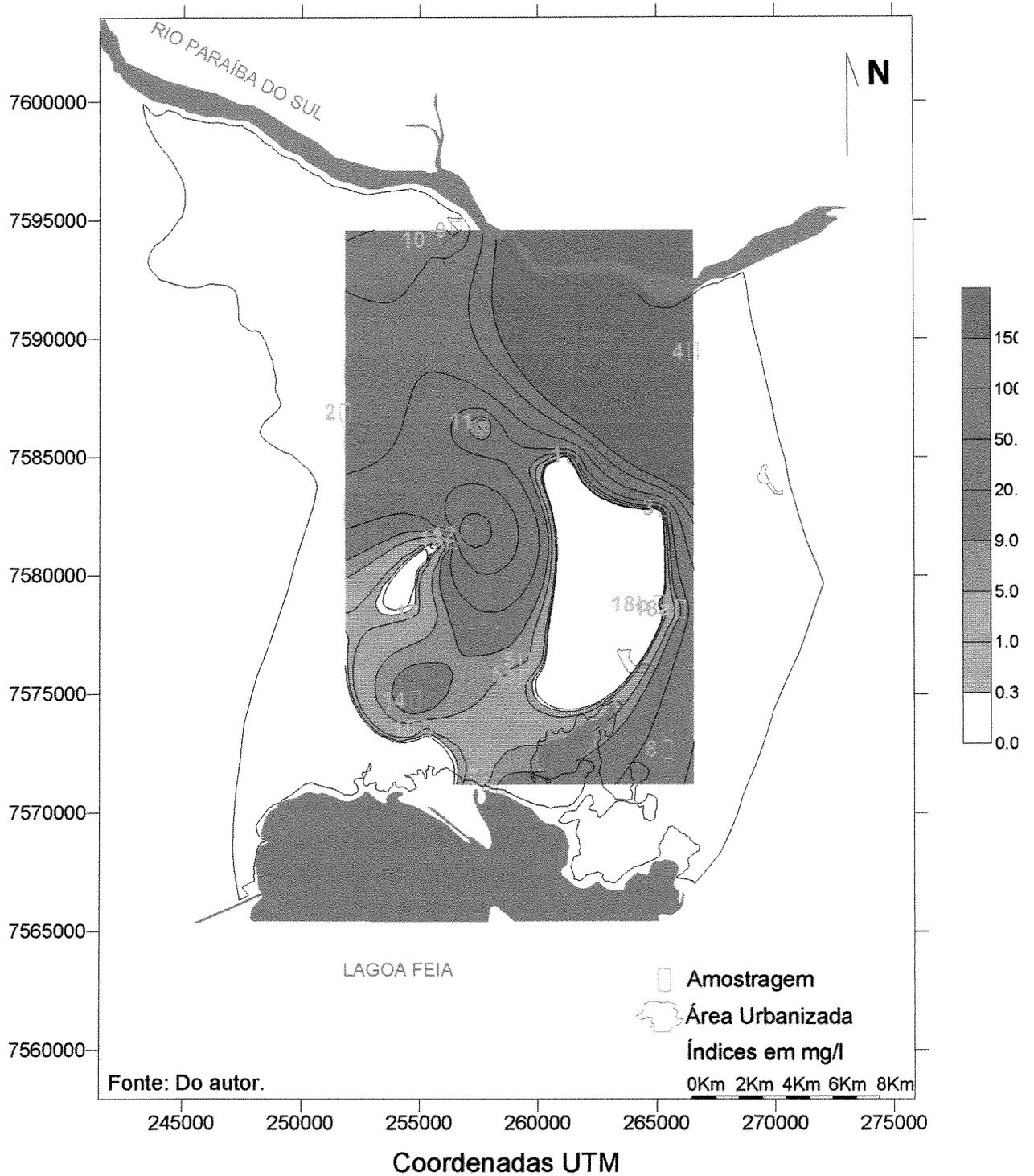
Todos os valores acima encontram-se em mg/l, exceto os de pH.

Fonte: Do autor.

ANEXO 5
MAPAS DE ÍNDICES EM MAIO DE 2002

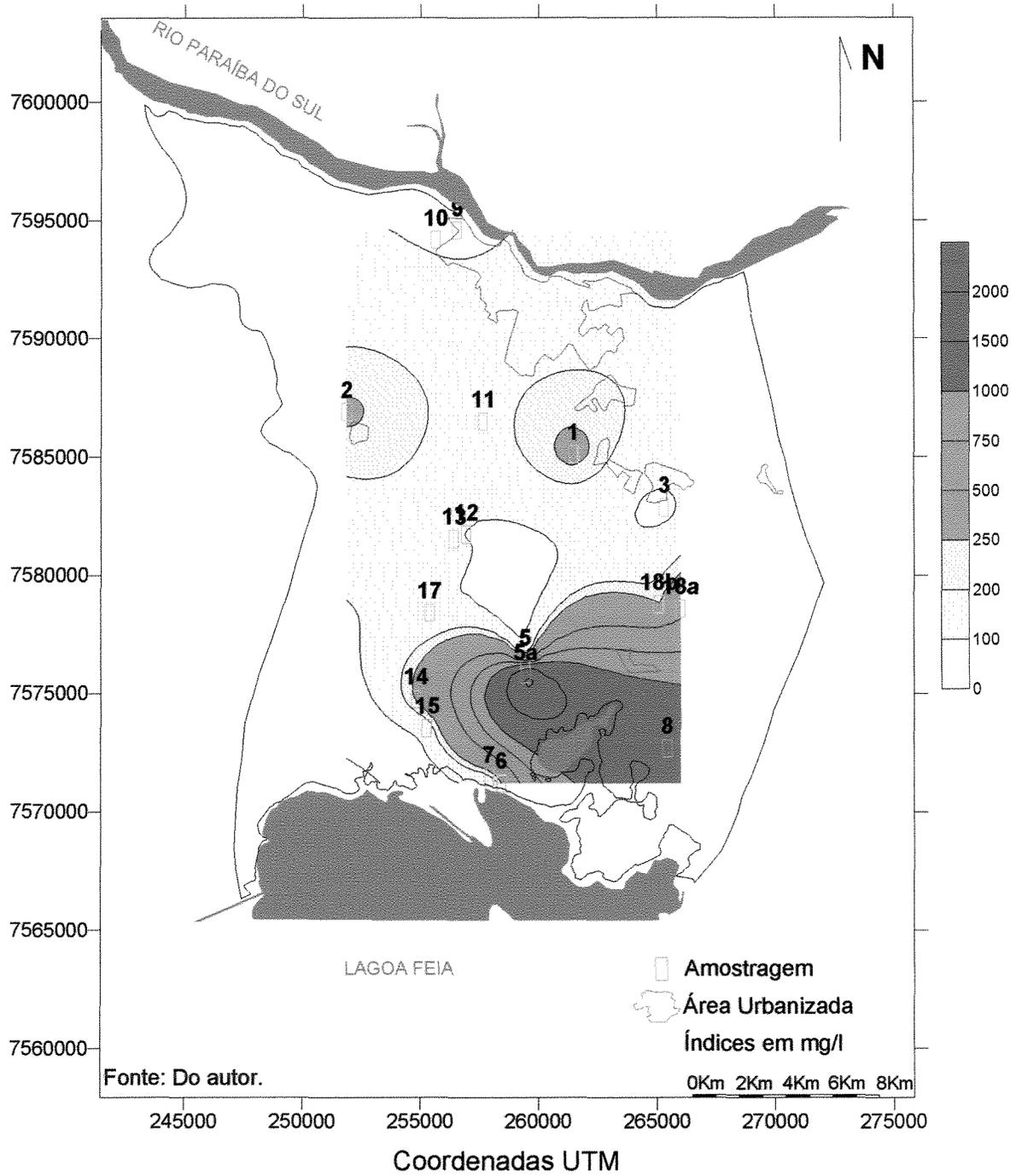
ANEXO 5 (a)

Índices de ferro total em maio de 2002



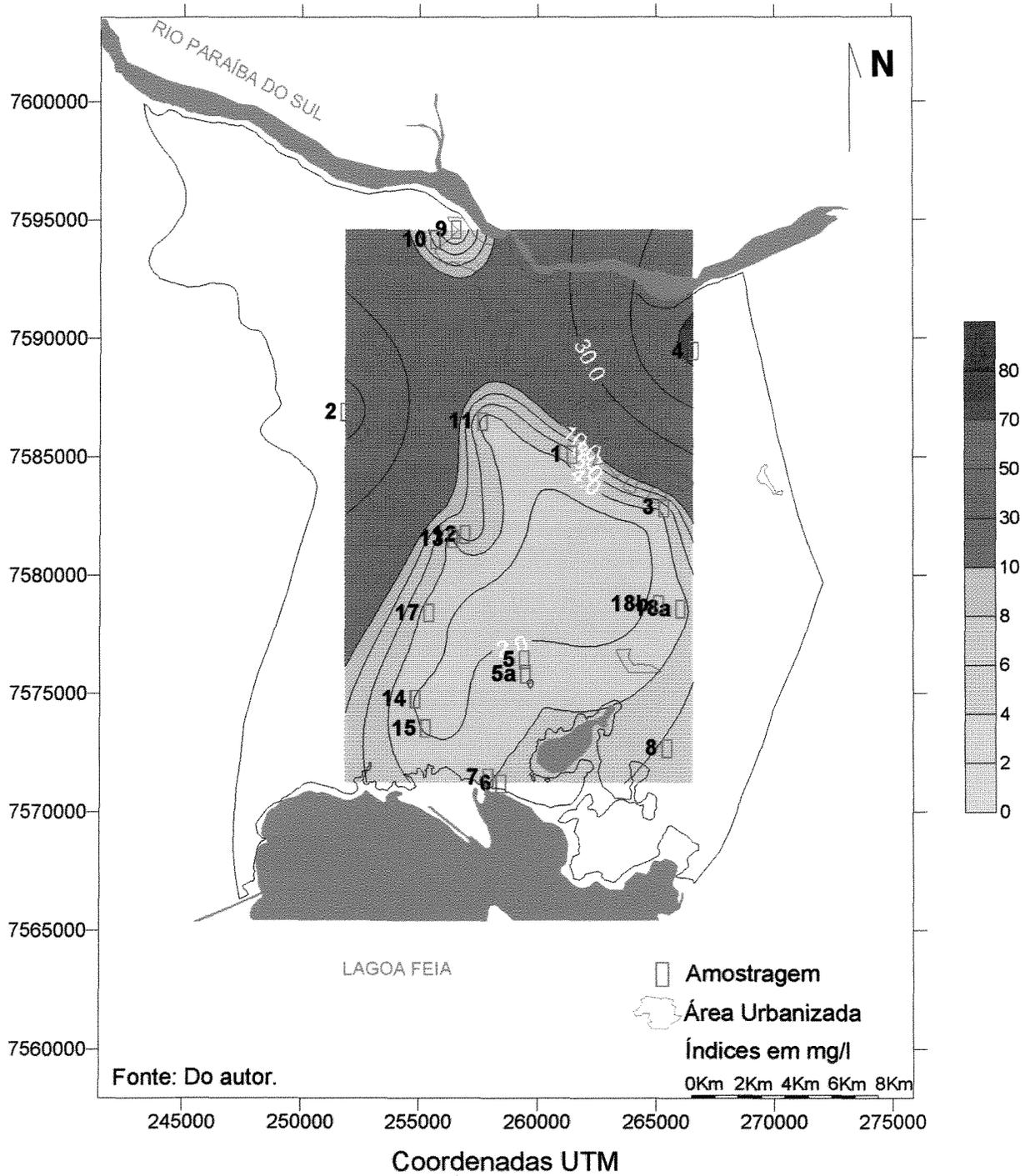
ANEXO 5 (b)

Índices de cloreto em maio de 2002



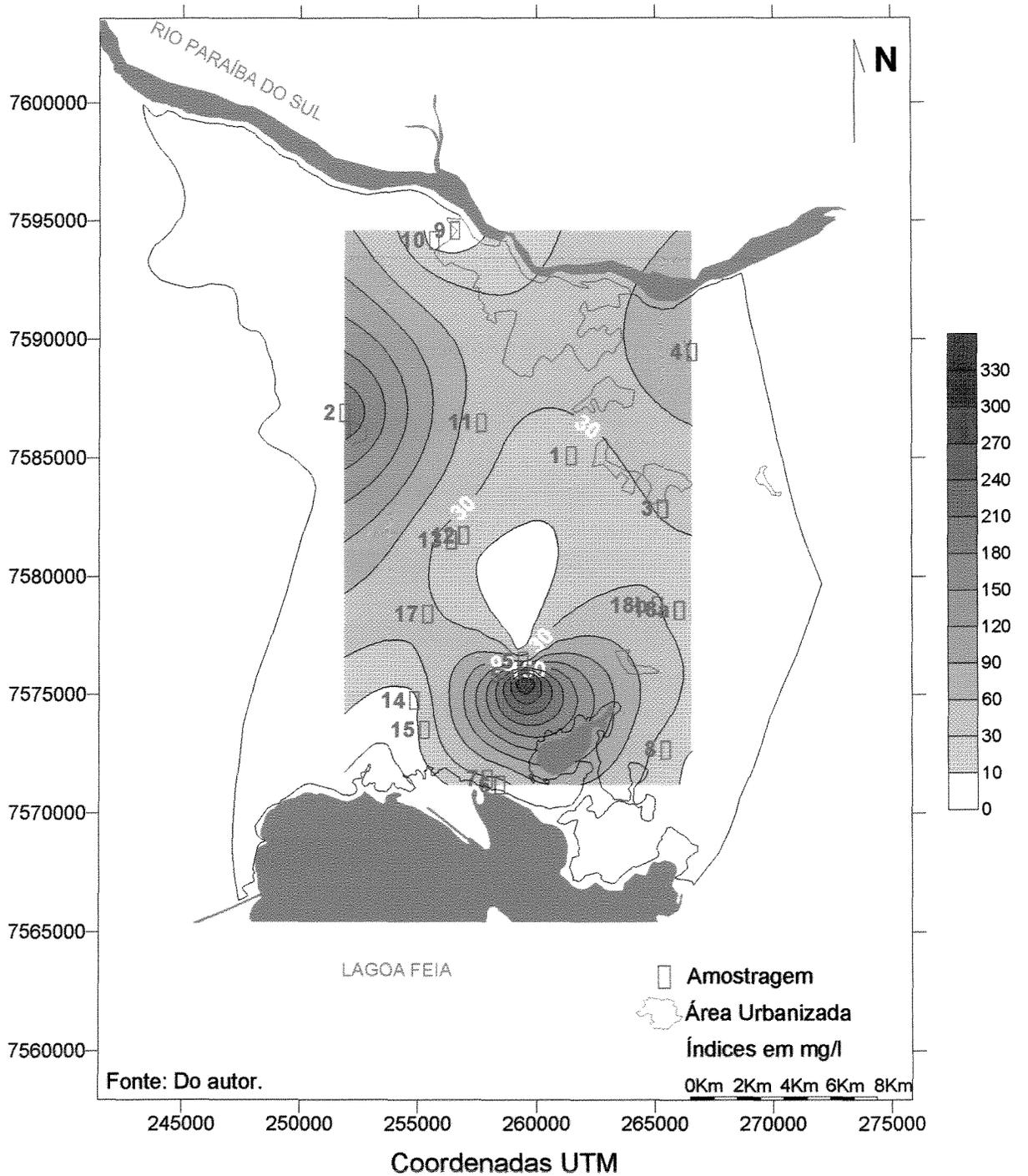
ANEXO 5 (c)

Índices de nitrogênio total em maio de 2002



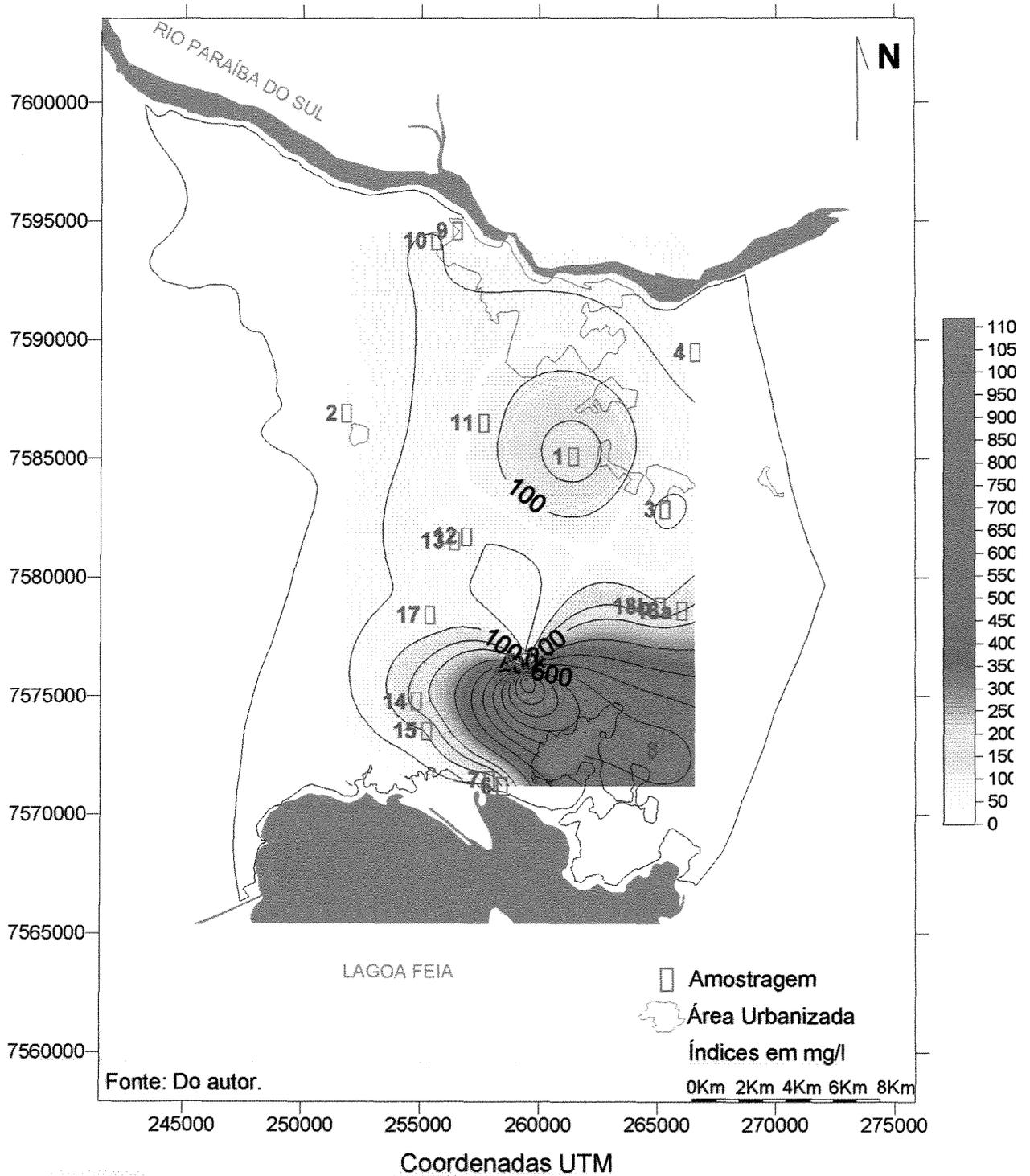
ANEXO 5 (d)

Índices de potássio em maio de 2002



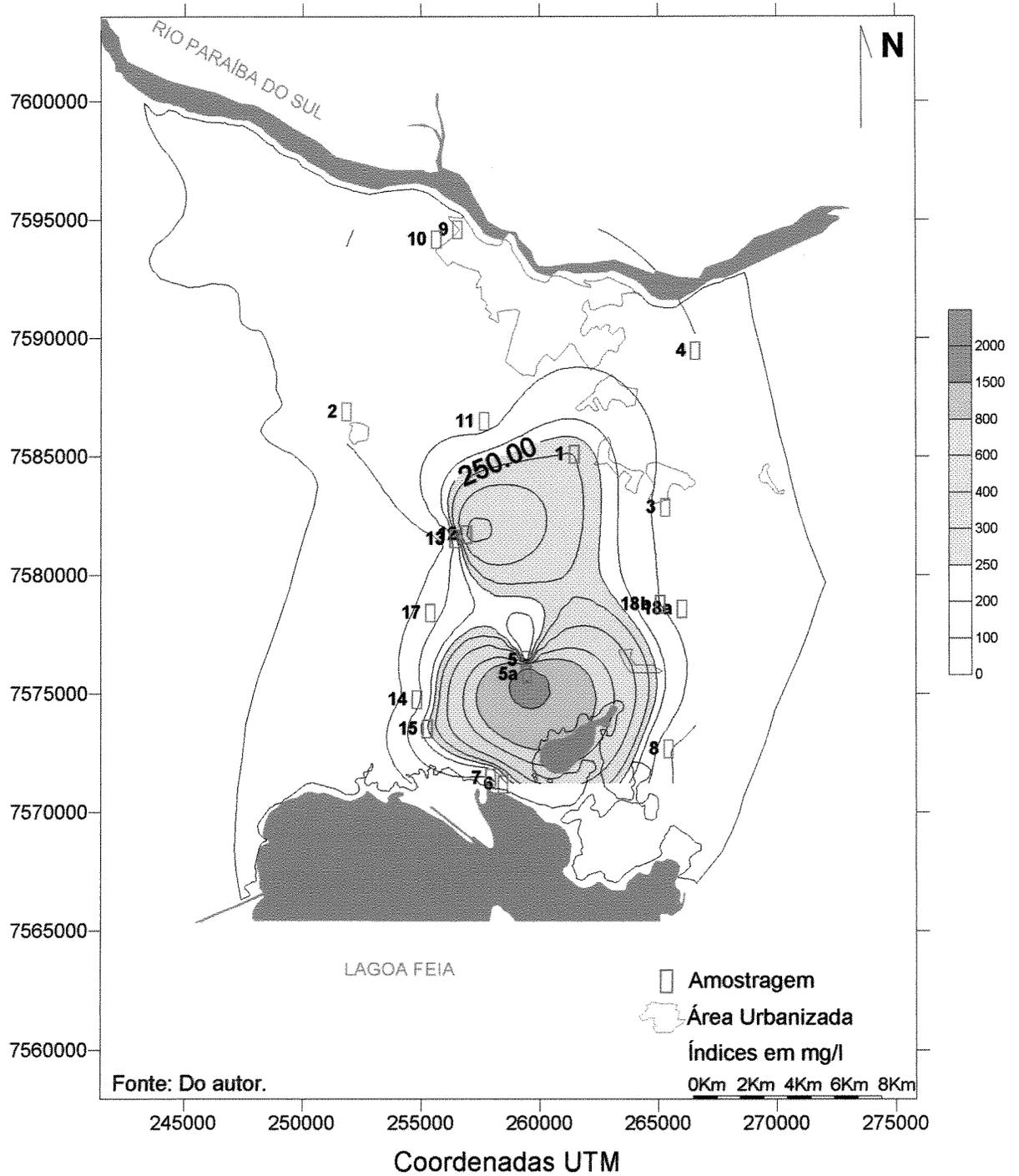
ANEXO 5 (e)

Índices de sódio em maio de 2002



ANEXO 5 (f)

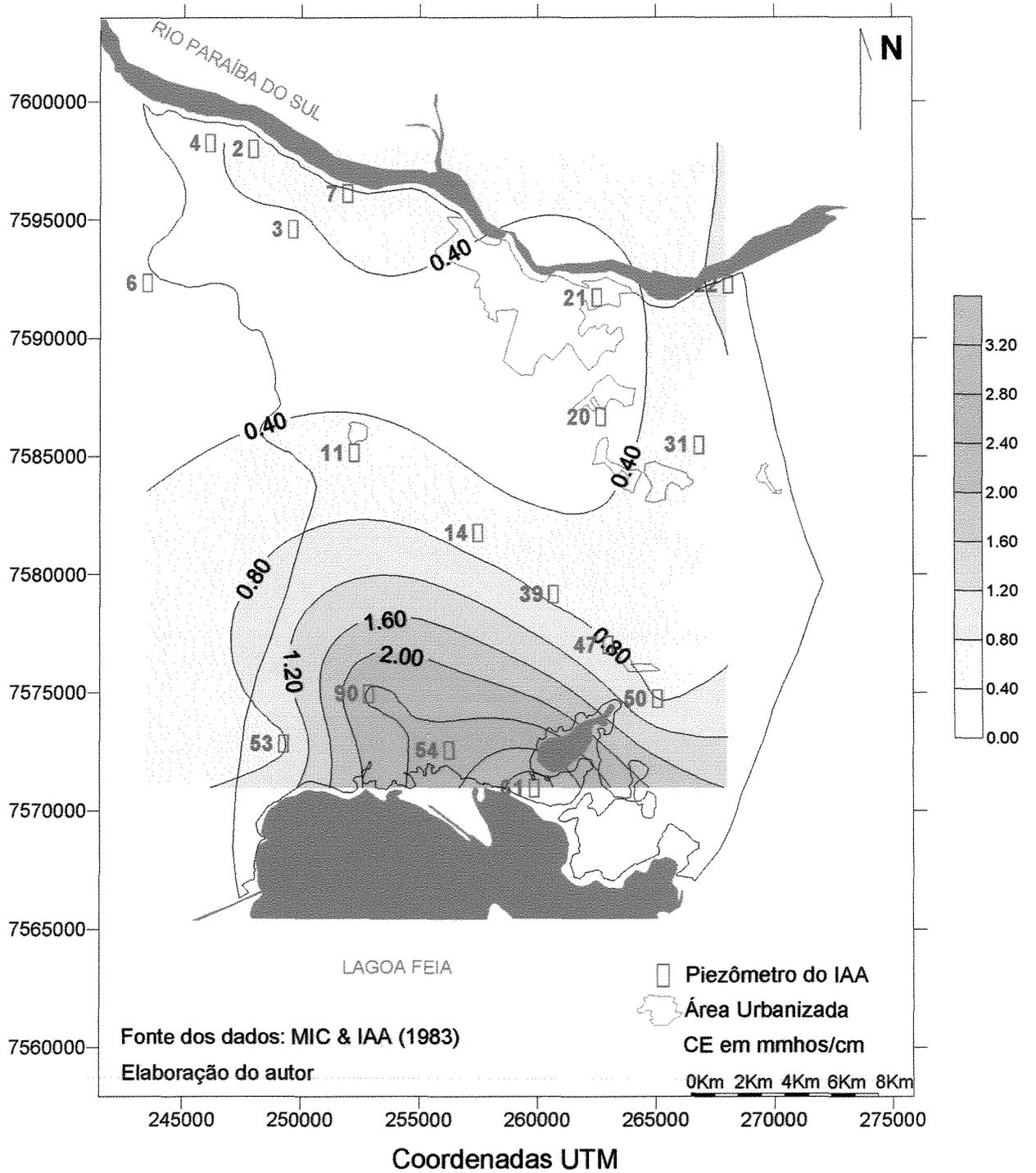
Índices de sulfato em maio de 2002



ANEXO 6
MAPAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

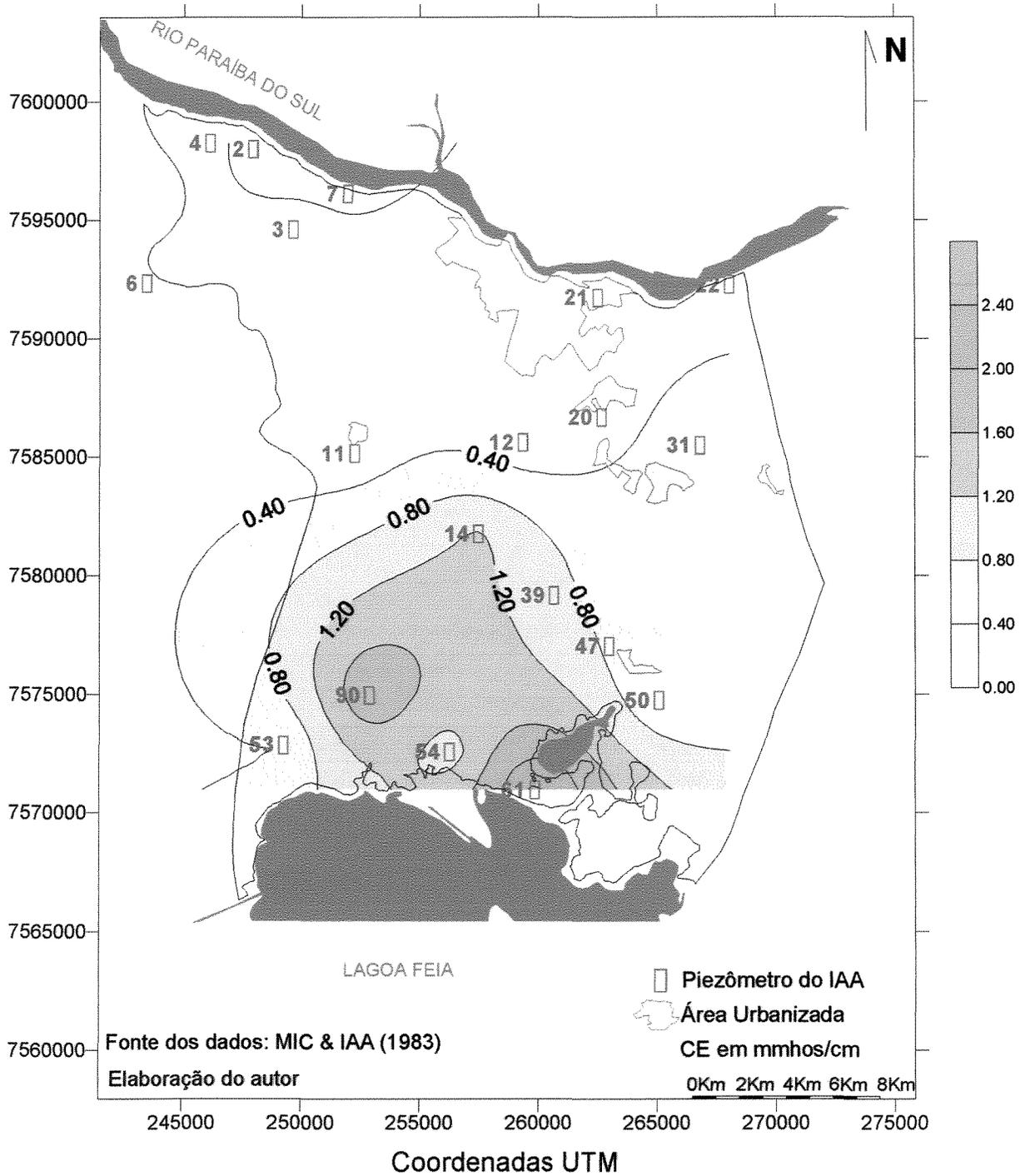
ANEXO 6 (a)

Condutividade elétrica no primeiro trimestre de 1983



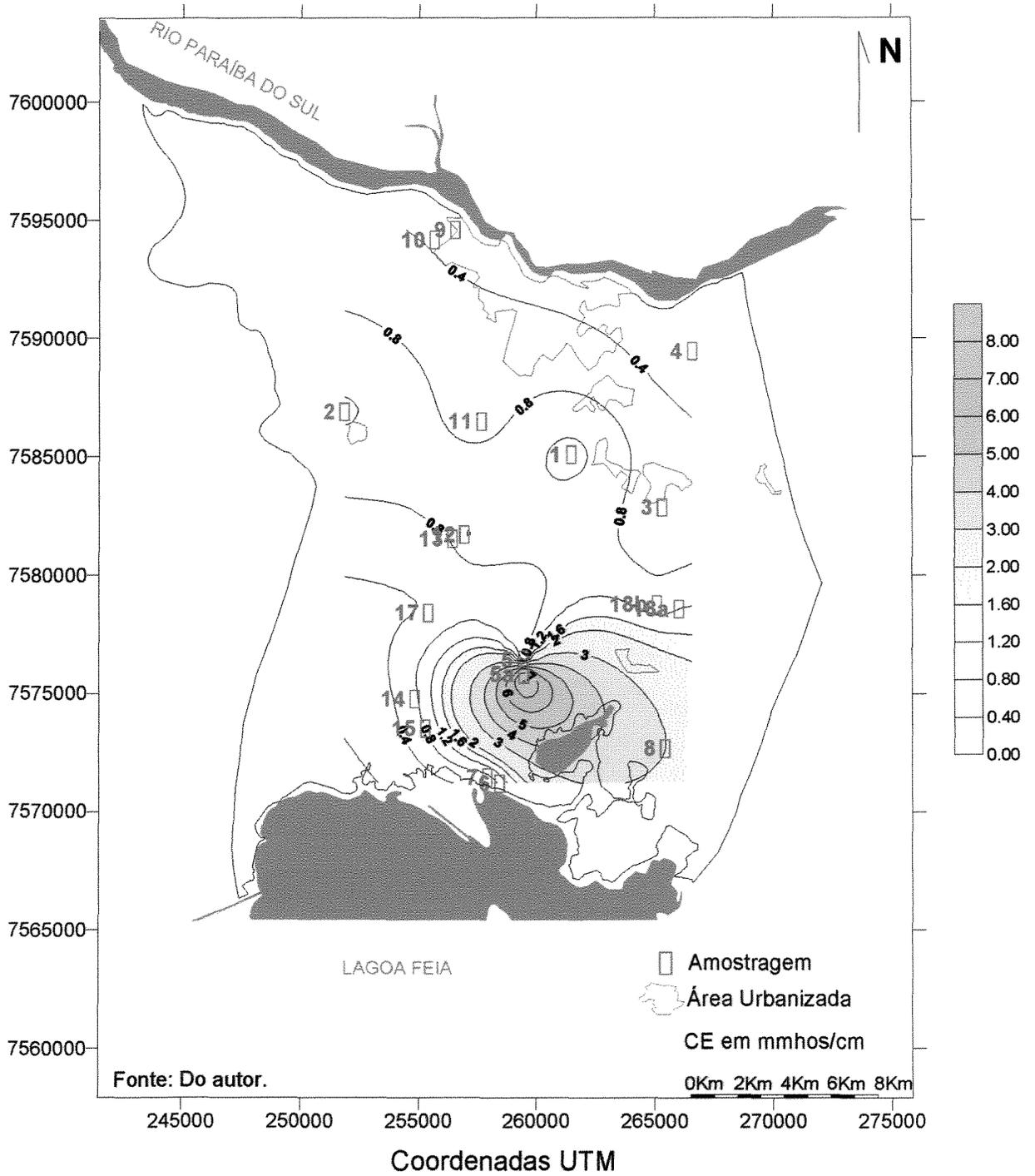
ANEXO 6 (b)

Condutividade elétrica no segundo trimestre de 1983



ANEXO 6 (c)

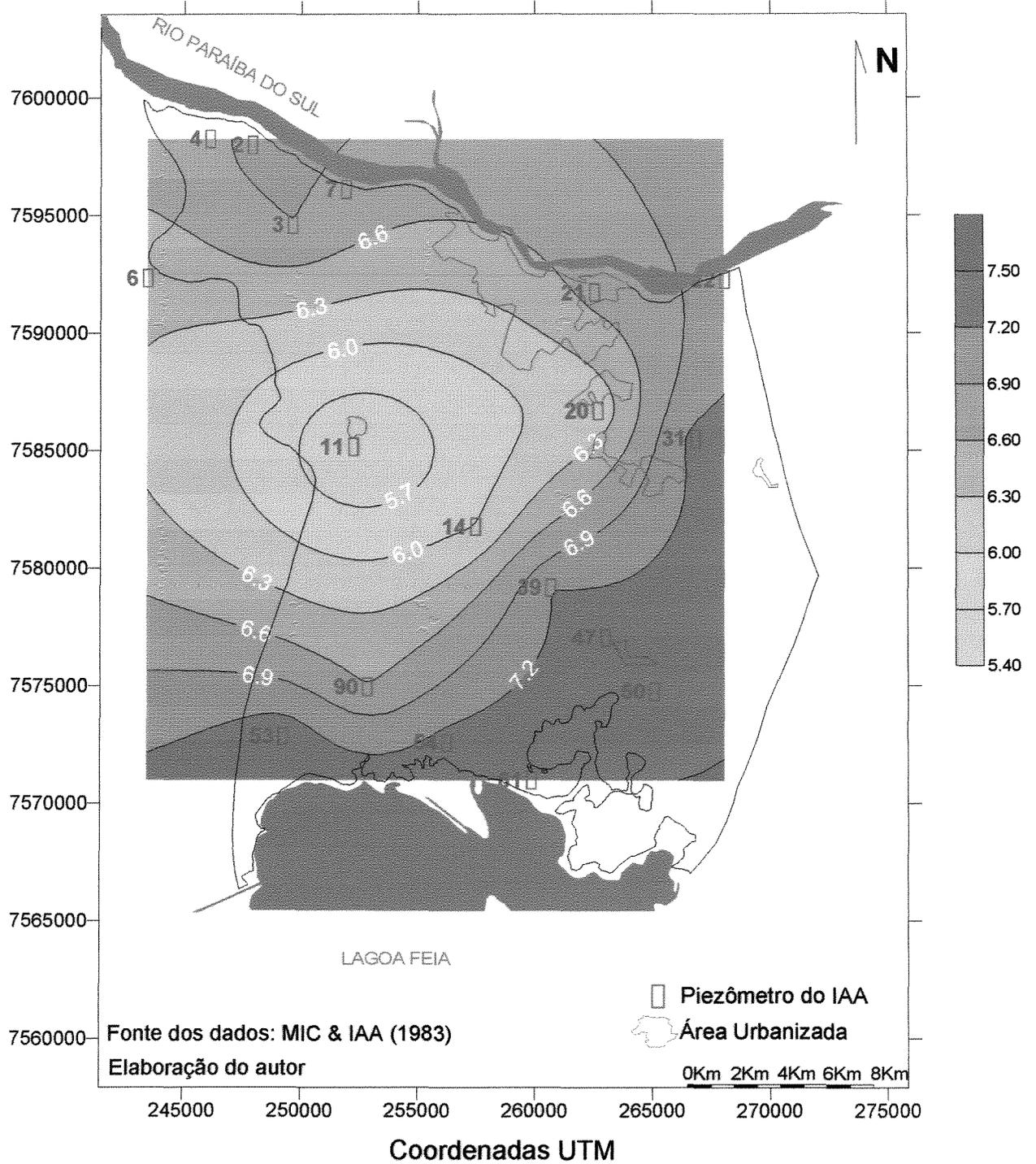
Condutividade elétrica em maio de 2002



ANEXO 7
MAPAS DE ÍNDICES DE PH

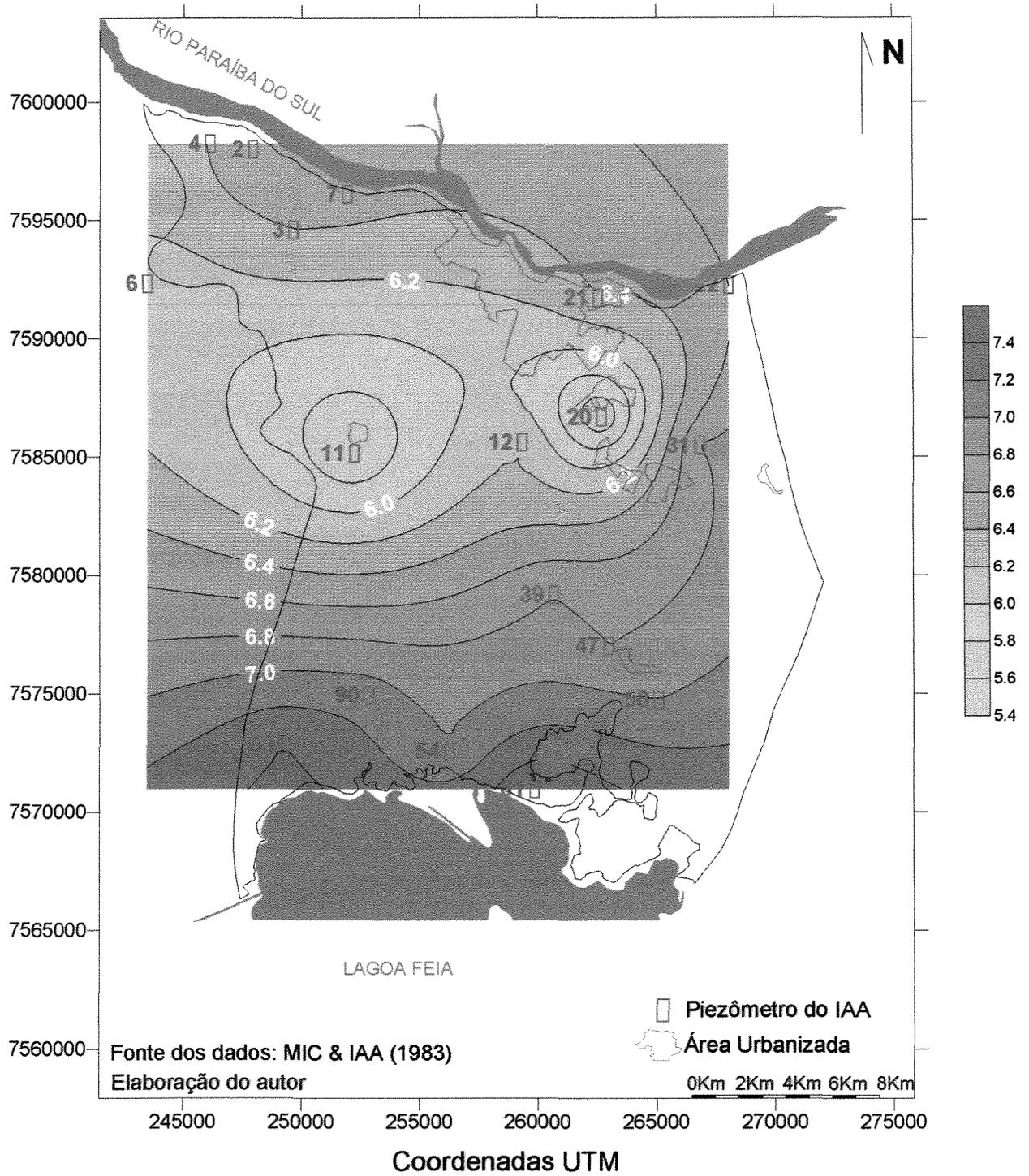
ANEXO 7 (a)

Índices de pH no primeiro trimestre de 1983



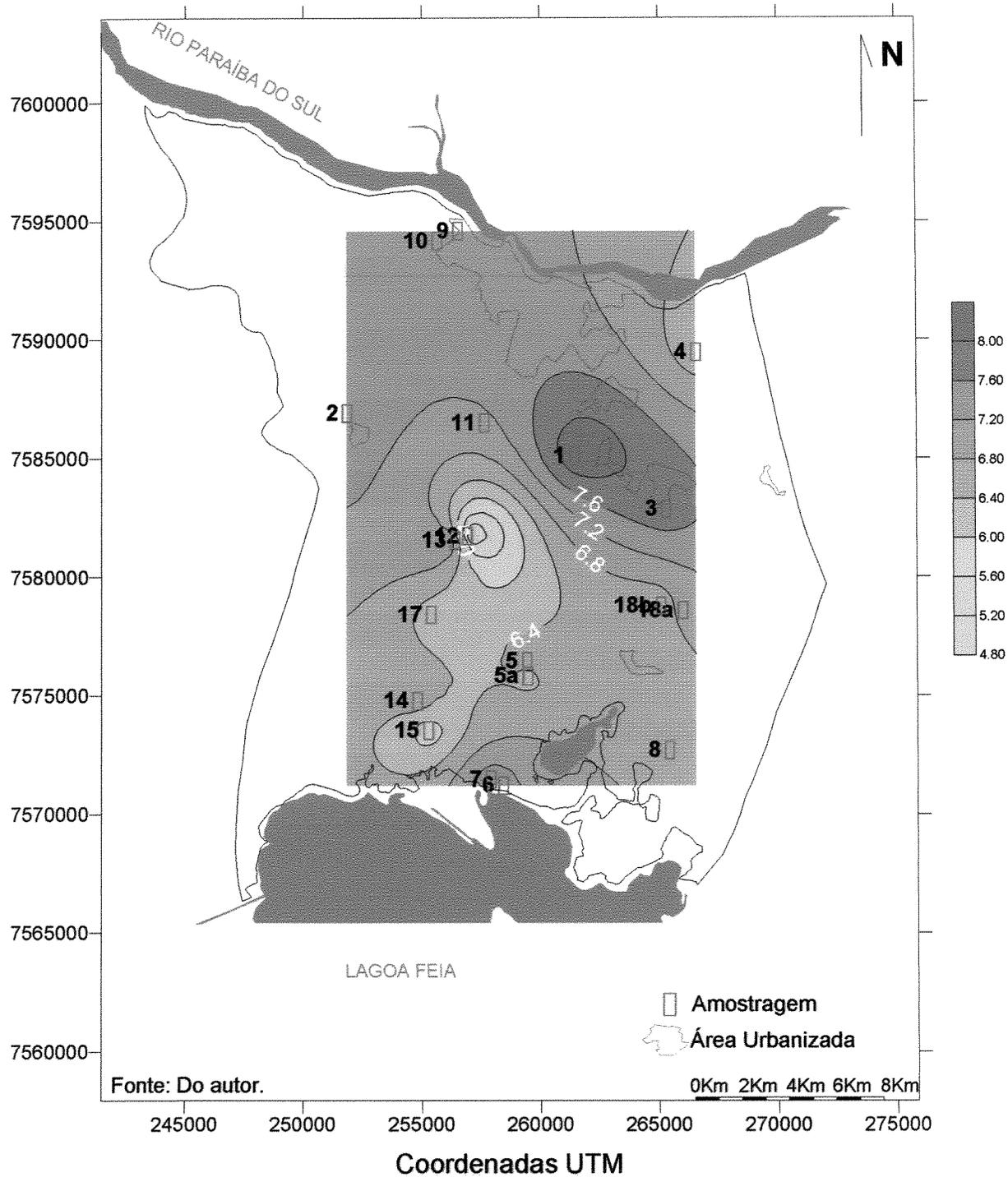
ANEXO 7 (b)

Índices de pH no segundo trimestre de 1983



ANEXO 7 (c)

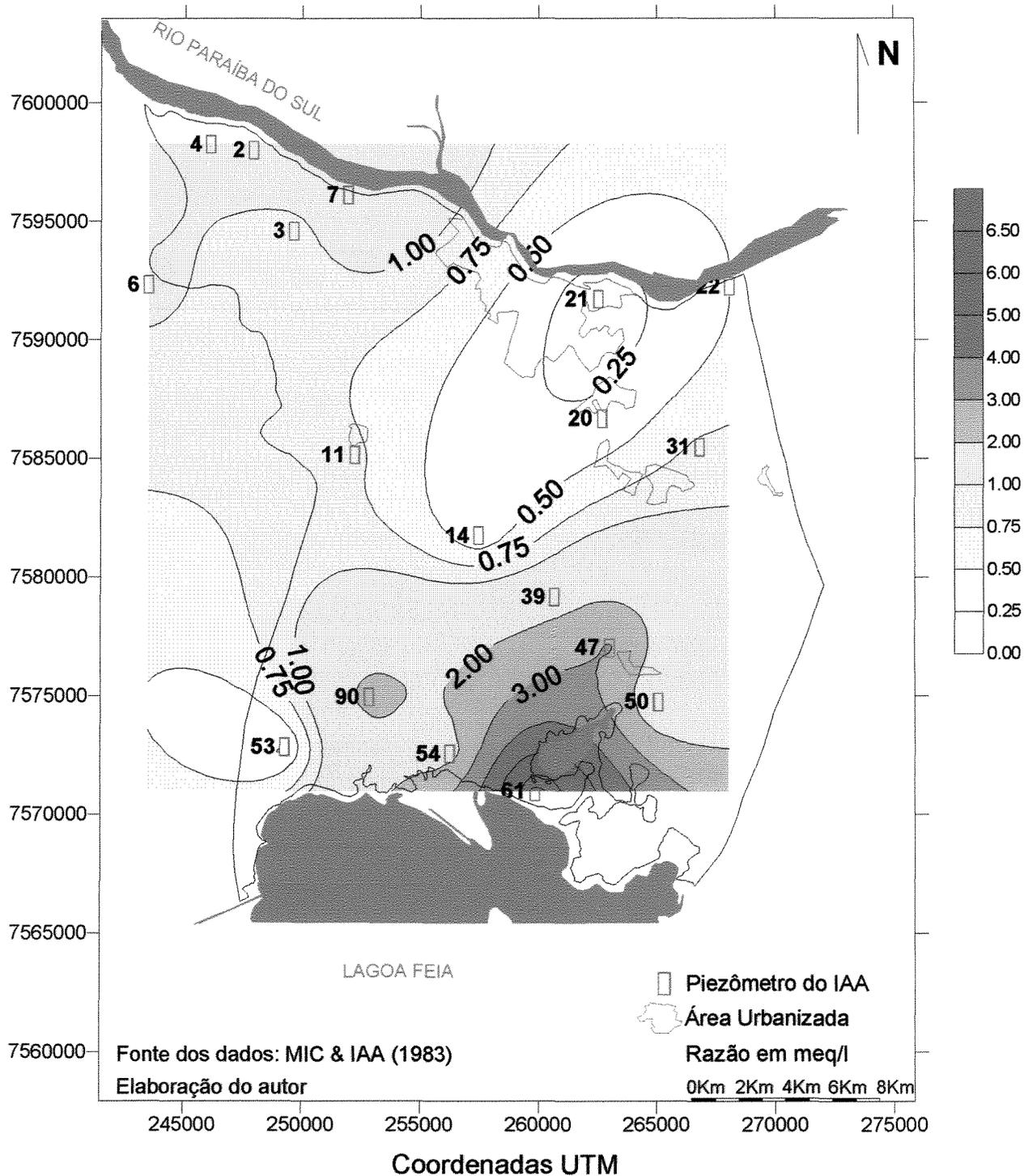
Índices de pH em maio de 2002



ANEXO 8
MAPAS DE RAZÃO IÔNICA

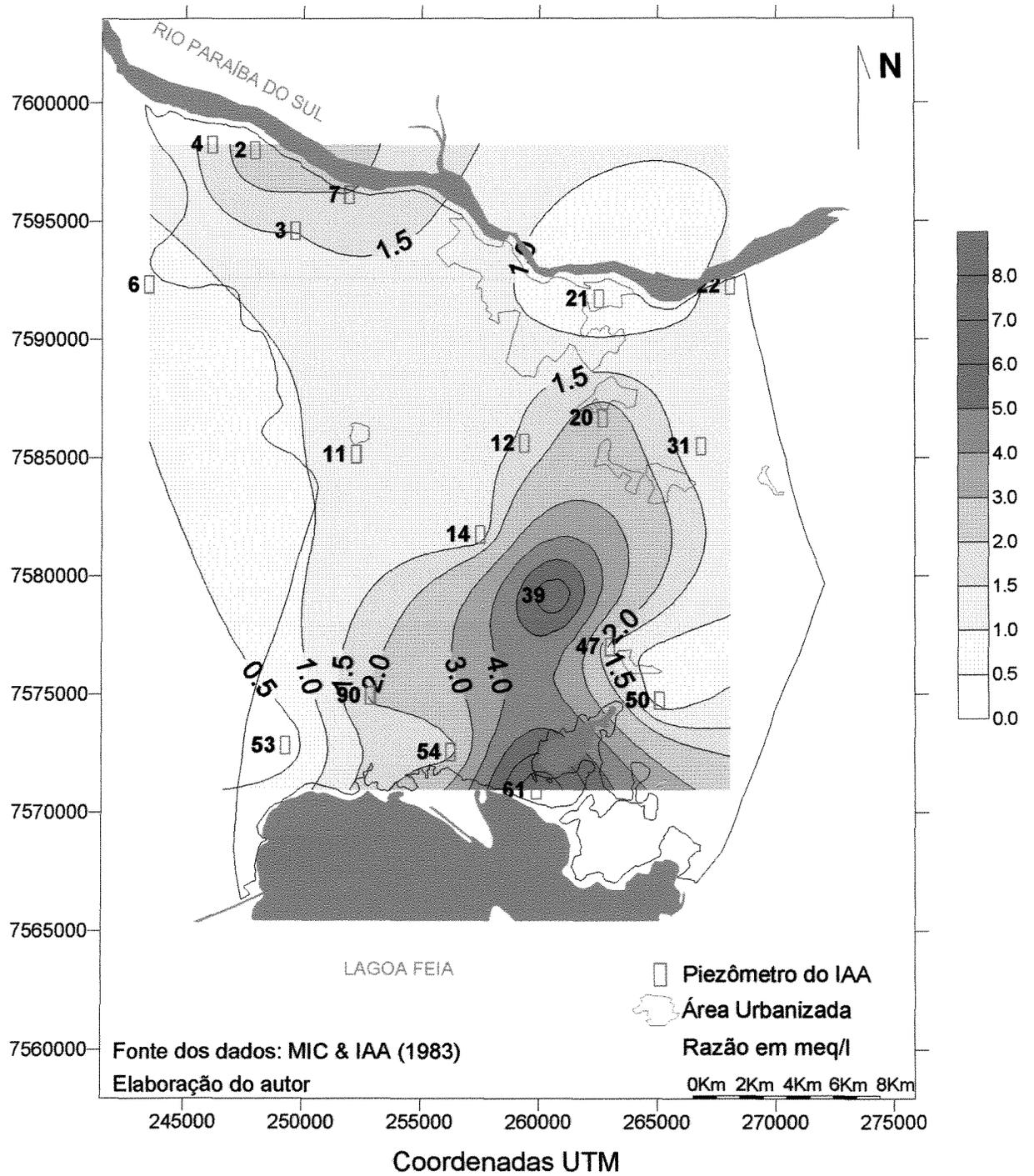
ANEXO 8 (a)

Razão iônica rMg^{+2} / rCa^{+2} no primeiro trimestre de 1983



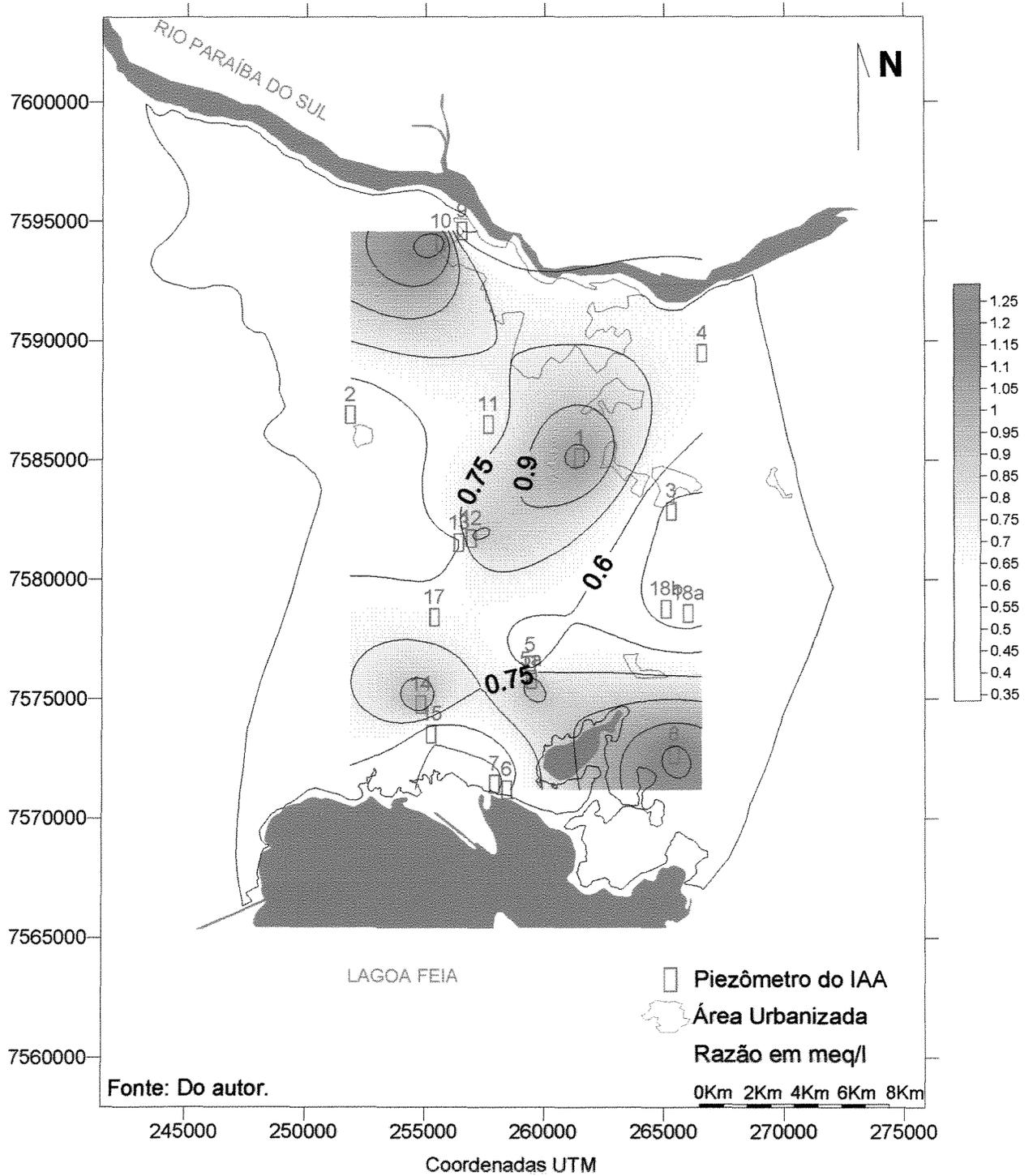
ANEXO 8 (b)

Razão iônica rMg^{+2} / rCa^{+2} no segundo trimestre de 1983



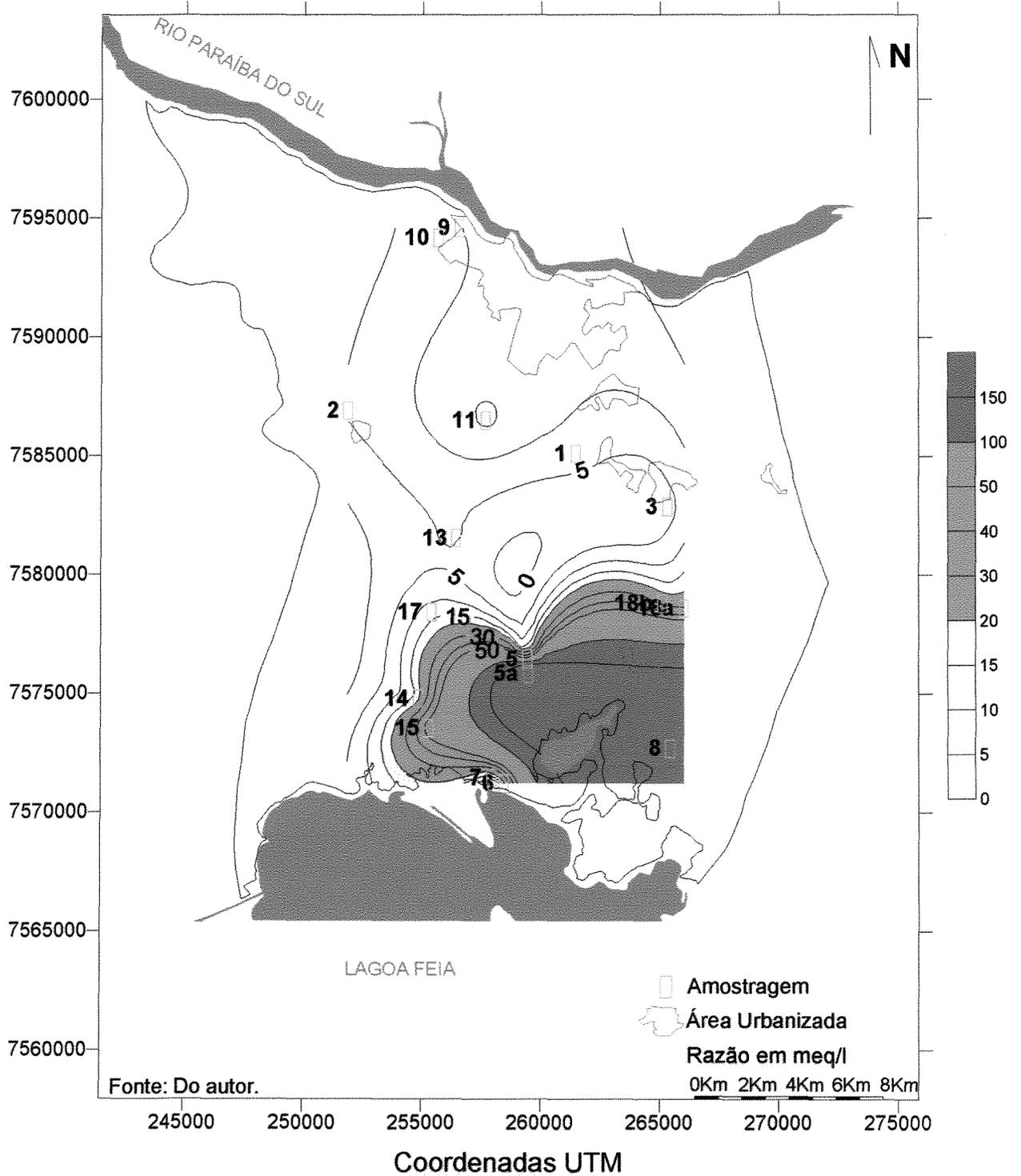
ANEXO 8 (c)

Razão iônica rMg^{+2}/rCa^{+2} em maio de 2002



ANEXO 8 (d)

Razão iônica $rCl^- / rHCO_3^-$ em maio de 2002



ANEXO 9
PERFIS ESTRATIGRÁFICOS DAS SONDAGENS A TRADO
EM MAIO DE 2002

ANEXO 9 (a)

Perfil estratigráfico do ponto 2

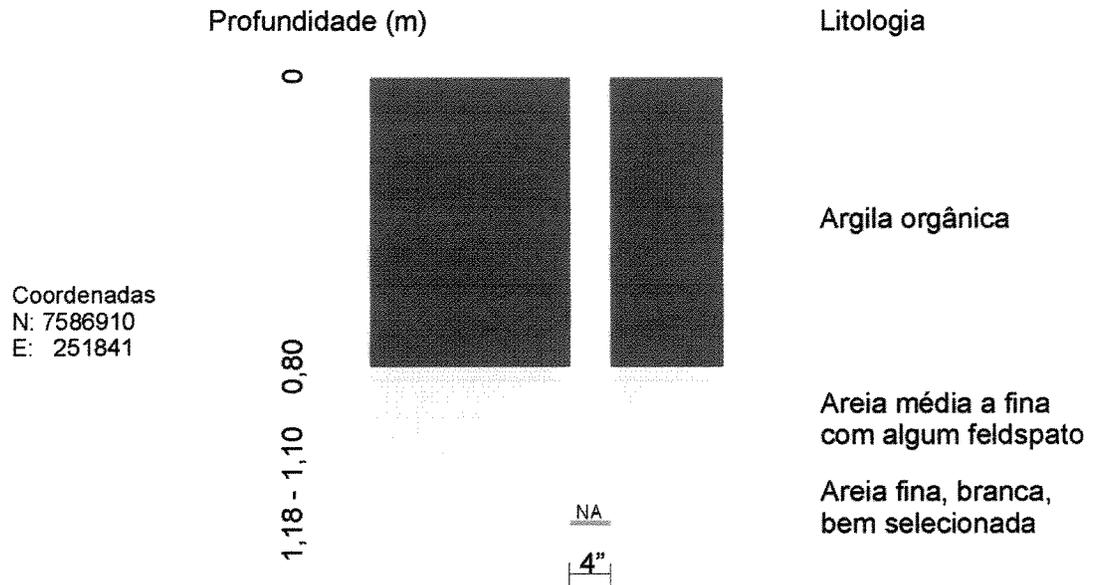
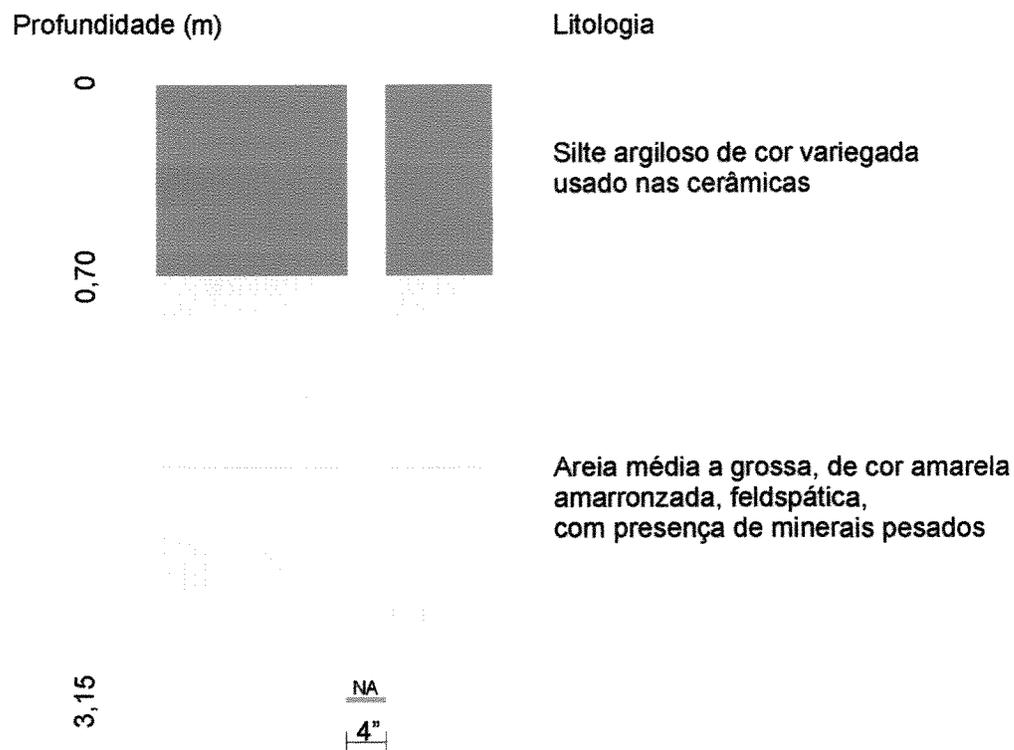


Foto 9.1: Ponto 2, localizado próximo à Usina Cupim.

ANEXO 9 (b)

Perfil estratigráfico do ponto 3



Coordenadas
N: 7582870
E: 265300



Foto 9.2: Ponto 3, localizado à beira da estrada Goytacazes - Tocos, a 1km de Goytacazes.

ANEXO 9 (c)

Perfil estratigráfico do ponto 4

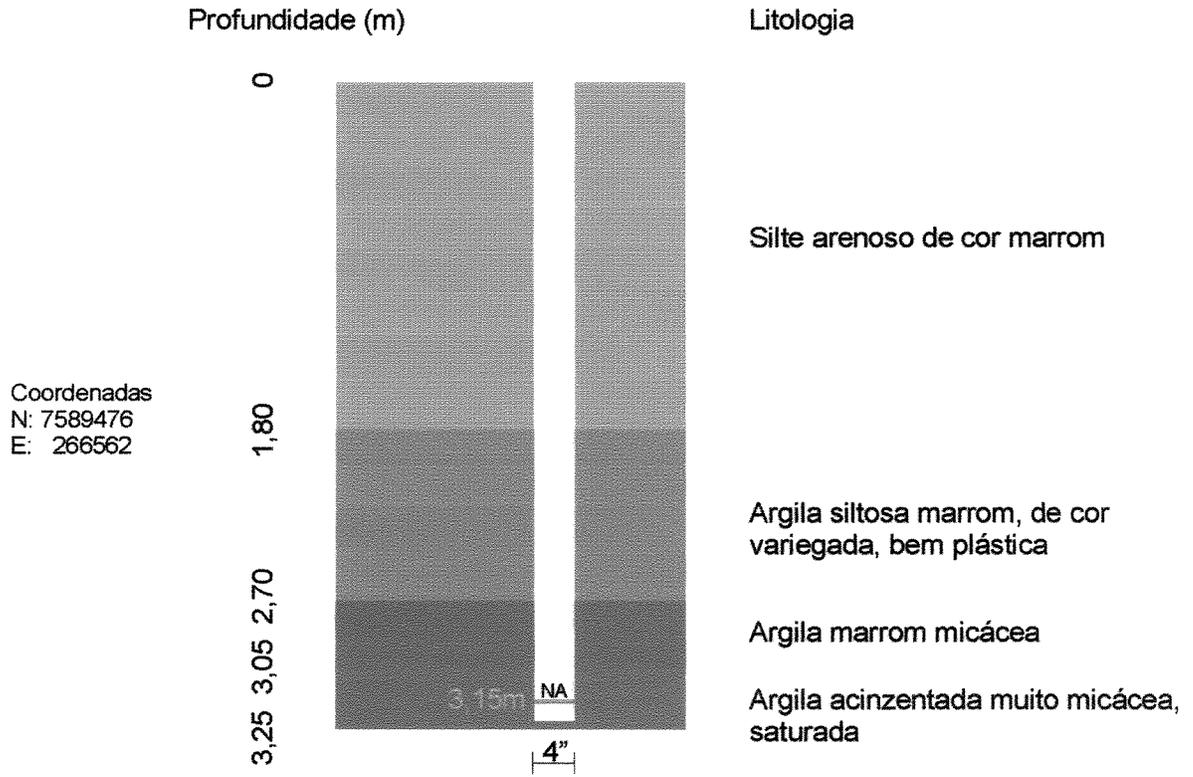


Foto 9.3: Ponto 4, localizado no extremo nordeste da área.

ANEXO 9 (d)

Perfil estratigráfico do ponto 5

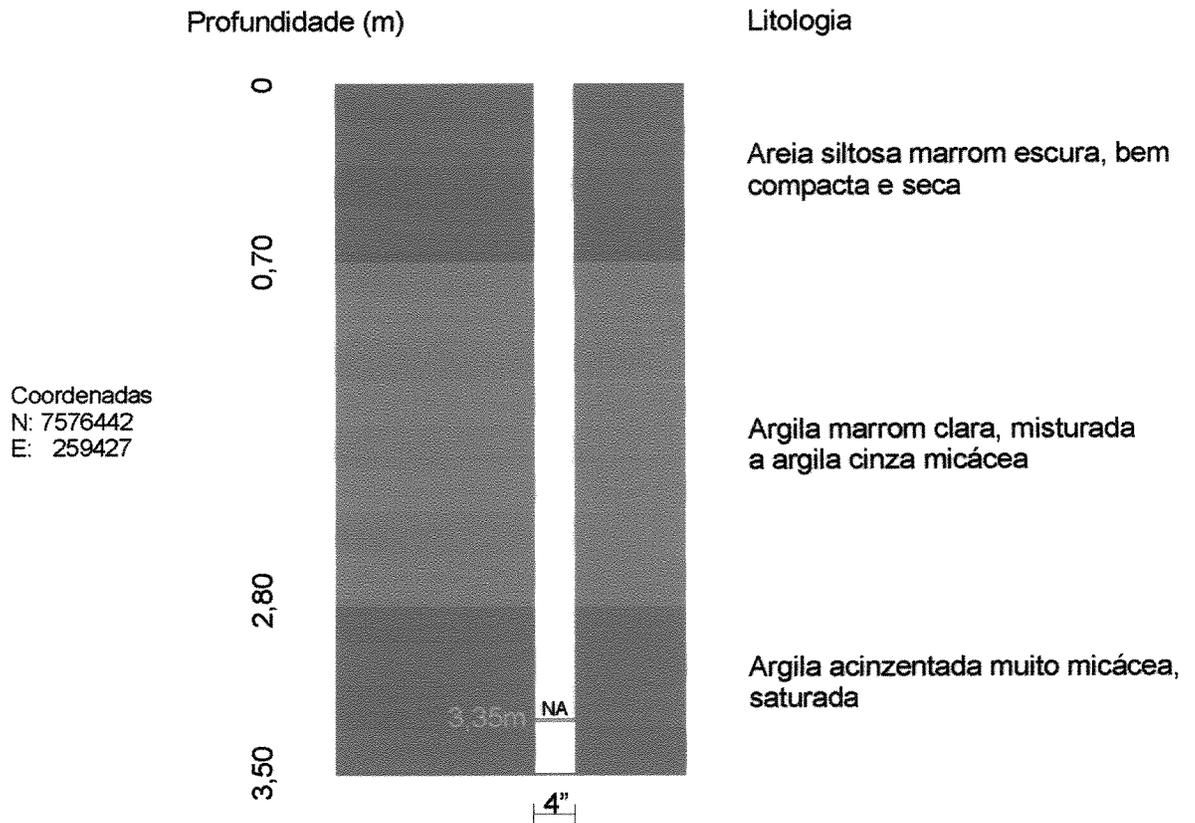
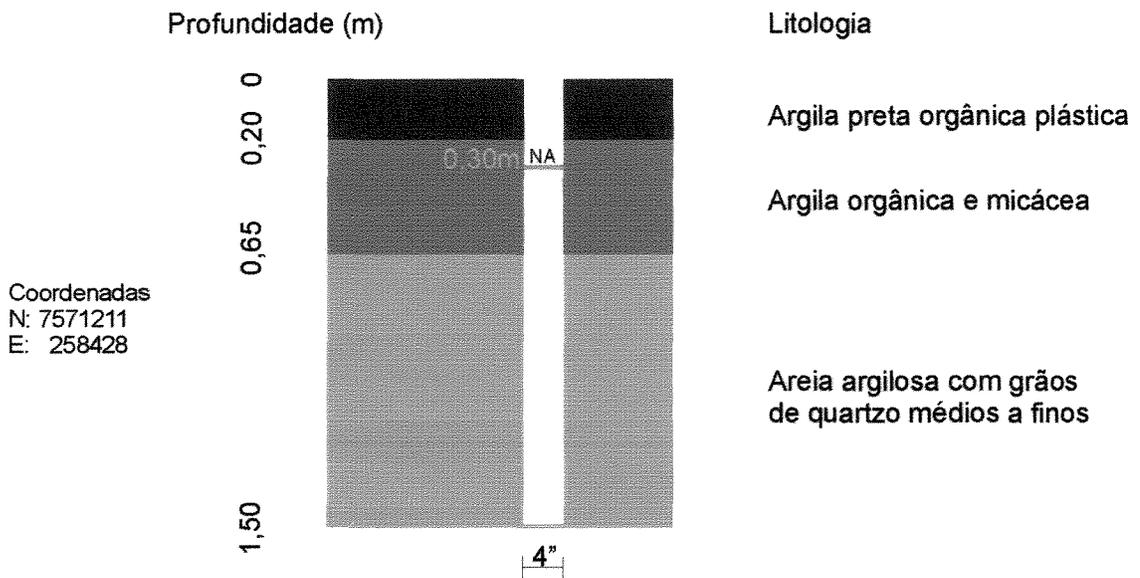


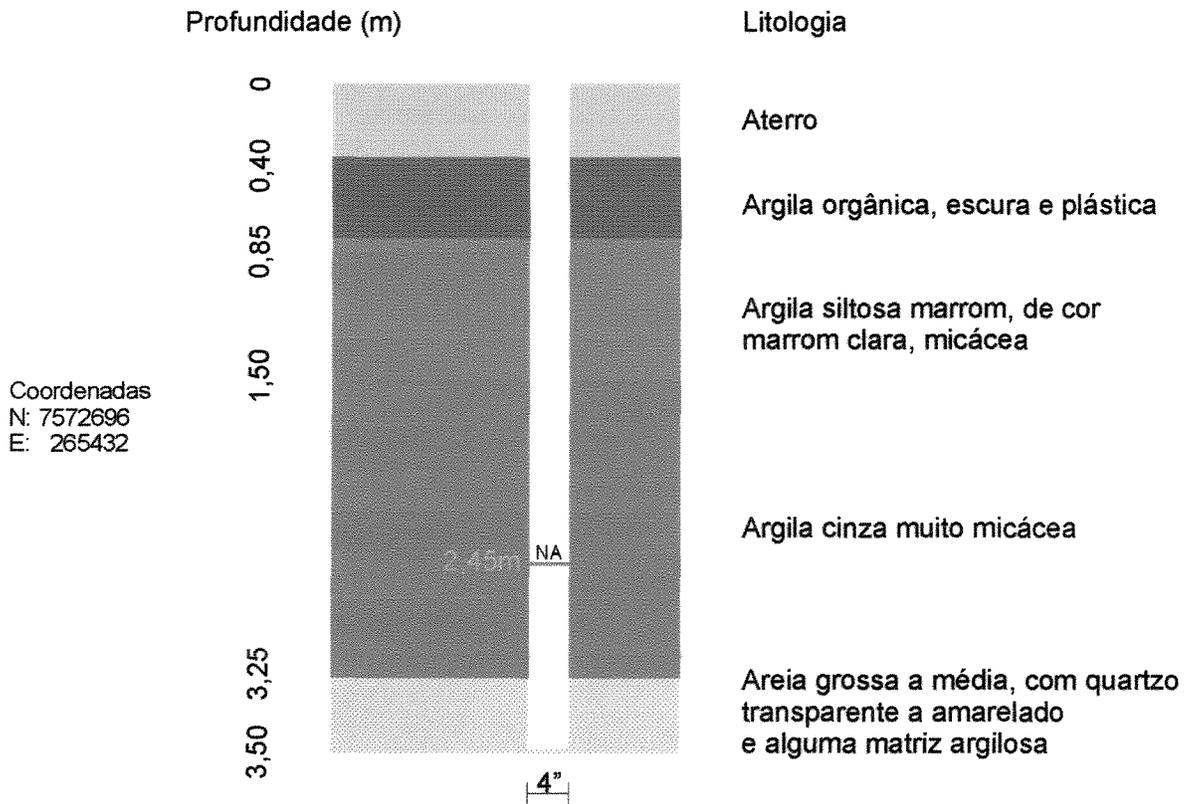
Foto 9.4: Ponto 5, localizado numa estrada secundária entre Tocos e Ponta Grossa dos Fidalgos.

ANEXO 9 (e)

Perfil estratigráfico do ponto 6

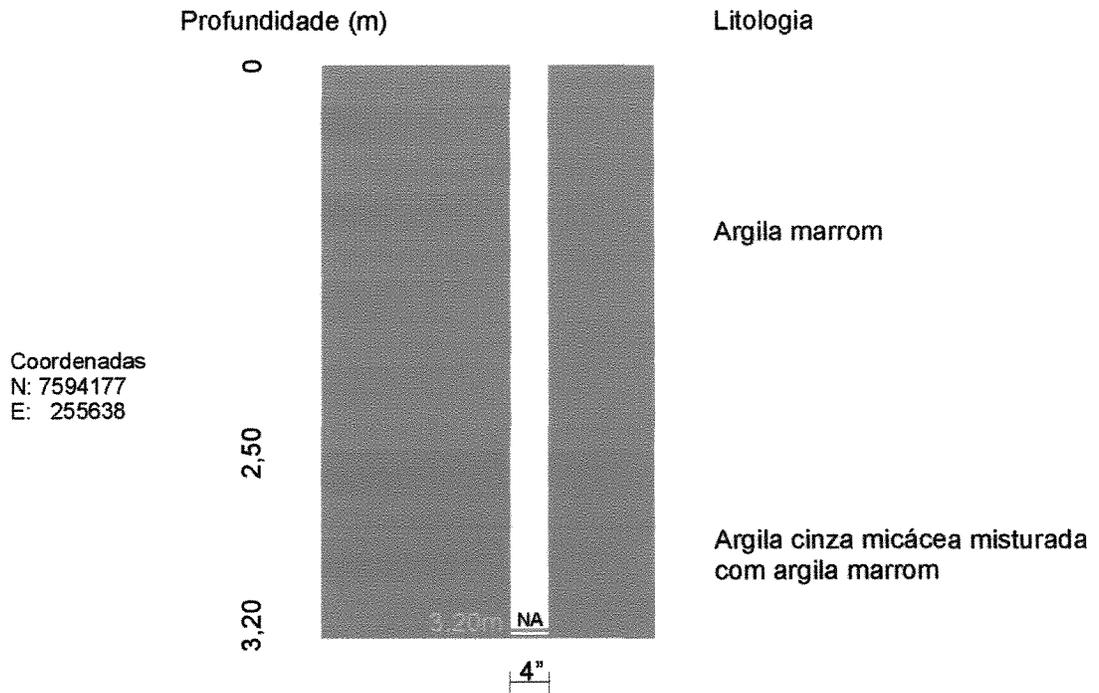


Perfil estratigráfico do ponto 8

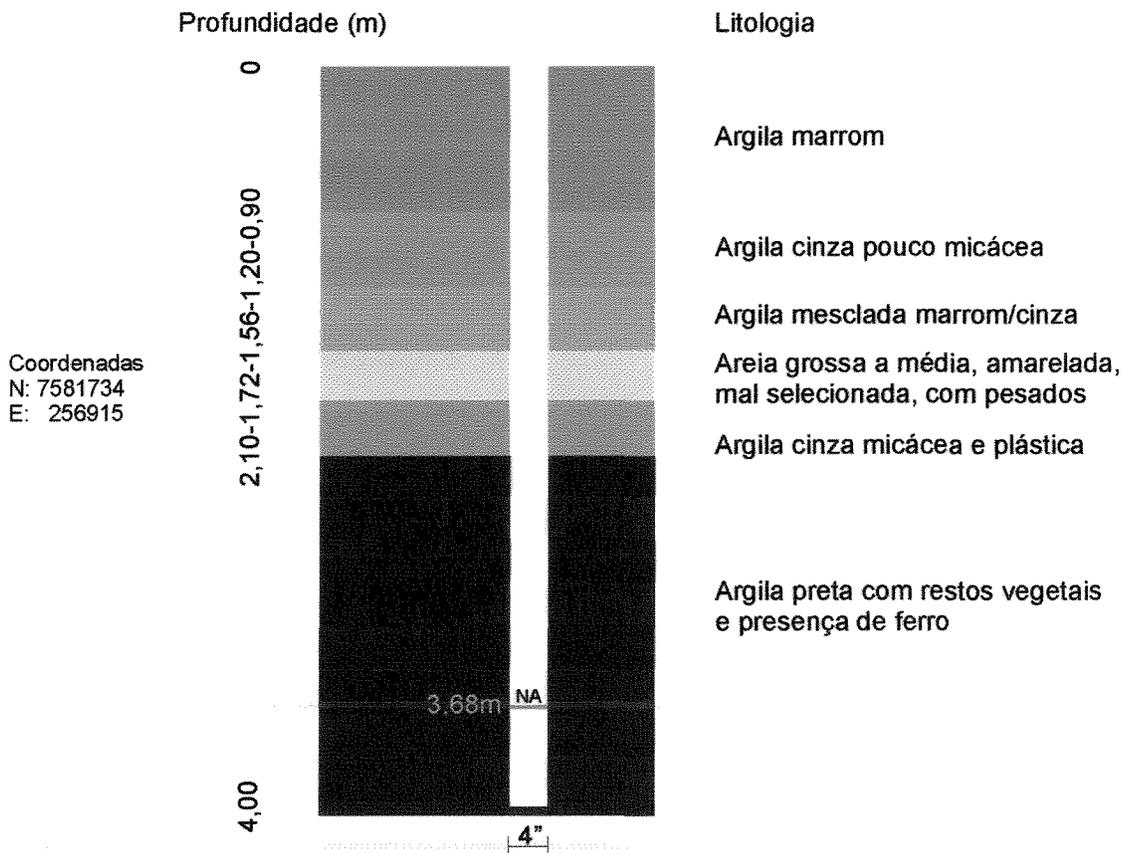


ANEXO 9 (f)

Perfil estratigráfico do ponto 10

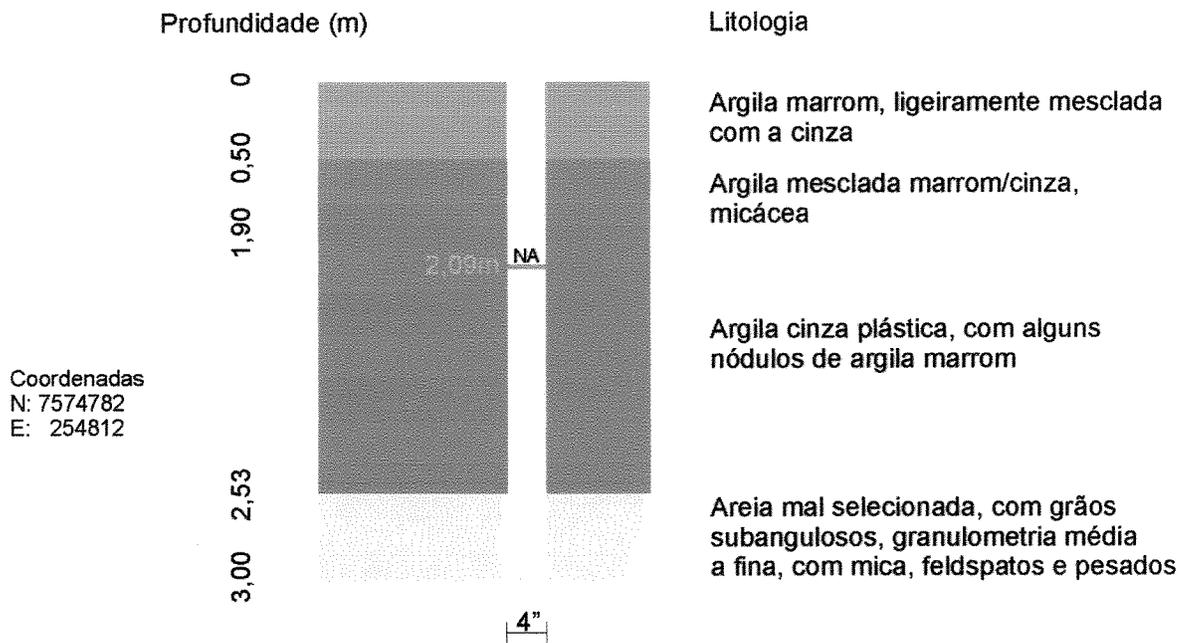


Perfil estratigráfico do ponto 12

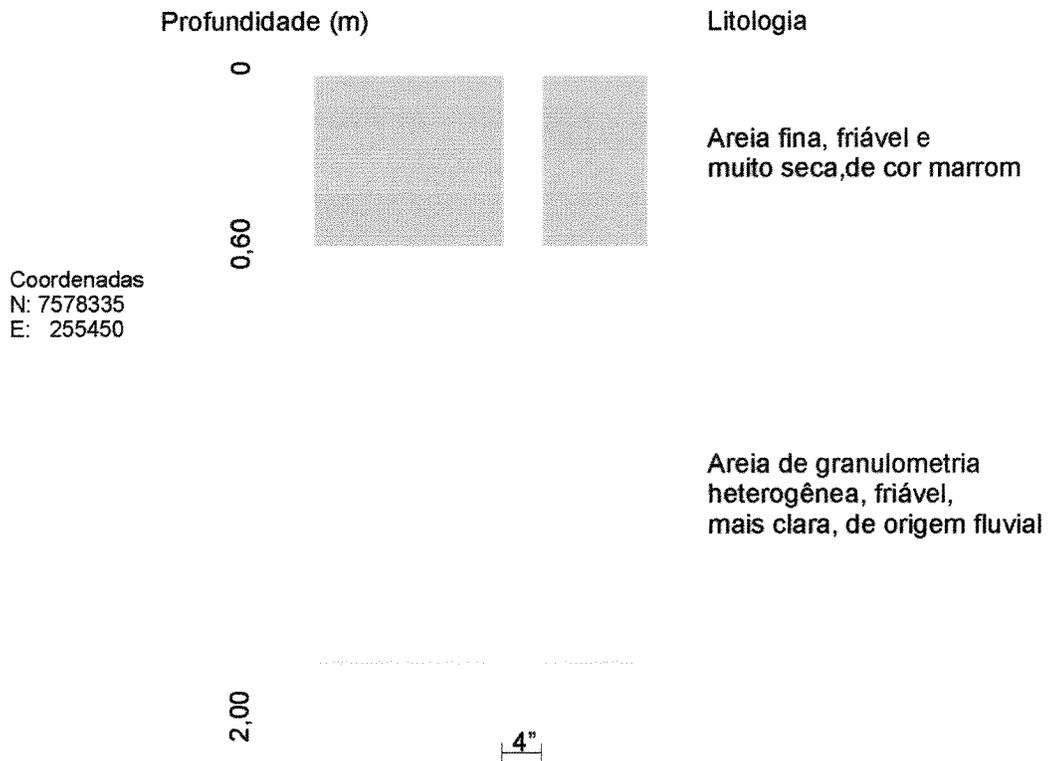


ANEXO 9 (g)

Perfil estratigráfico do ponto 14

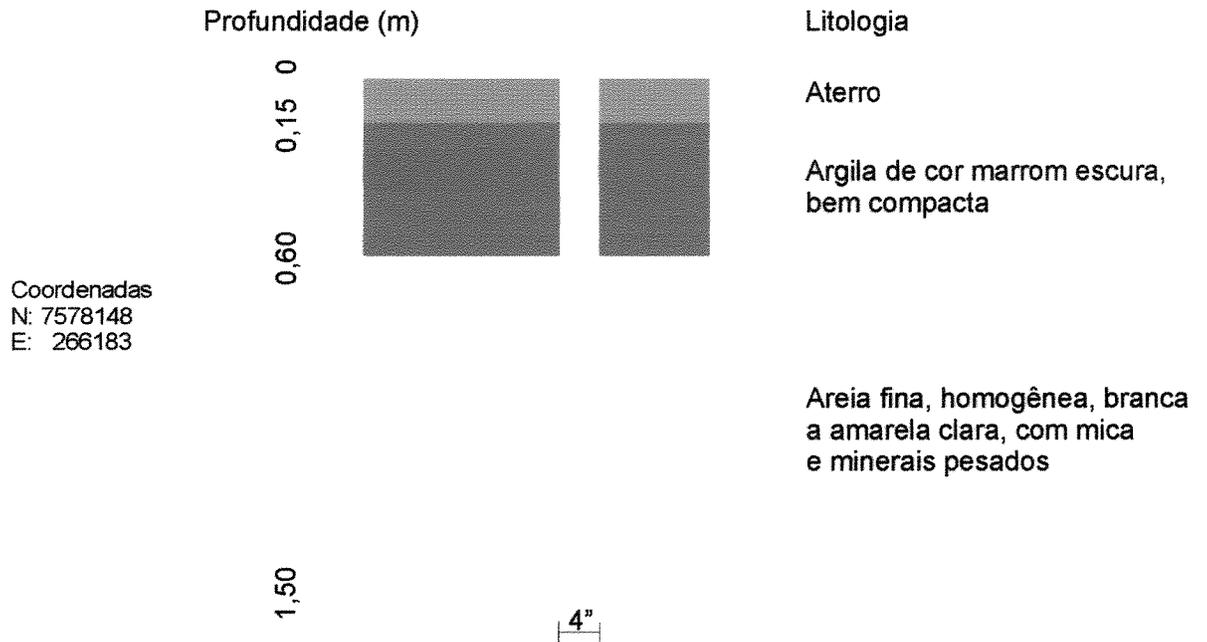


Perfil estratigráfico do ponto 16

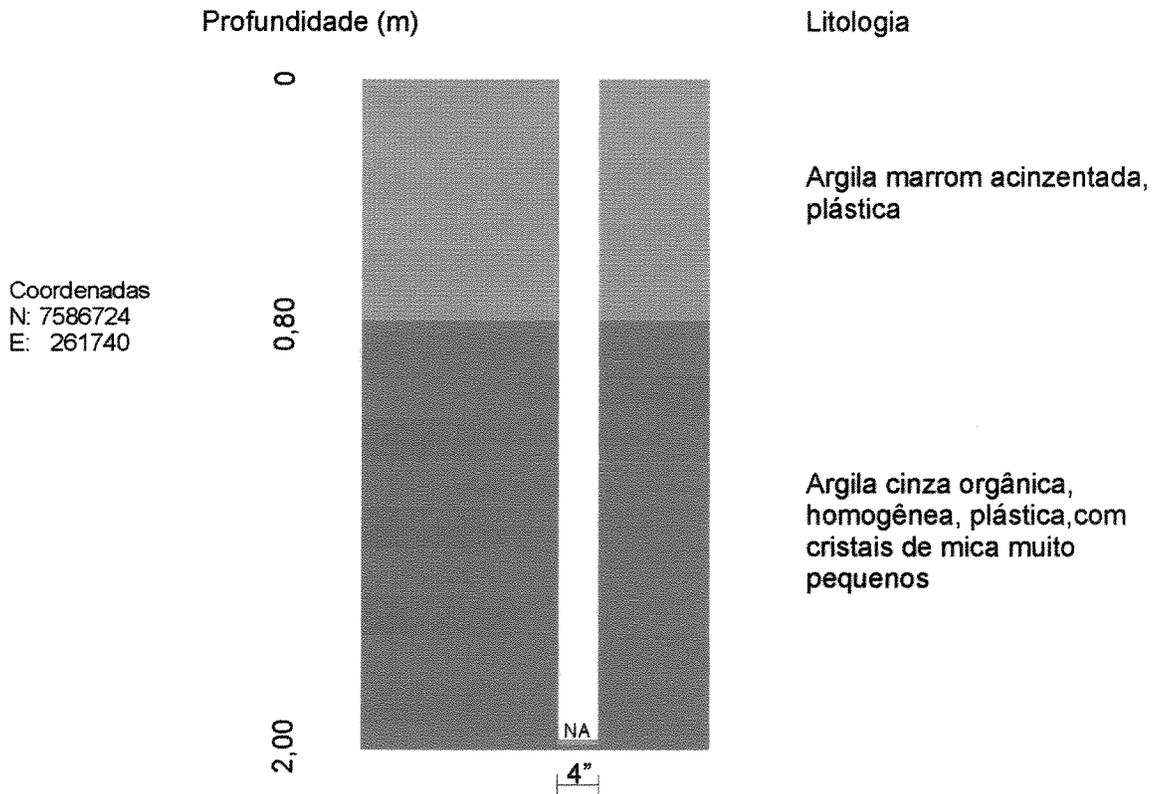


ANEXO 9 (h)

Perfil estratigráfico do ponto 18



Perfil estratigráfico do ponto 19



ANEXO 10
RESULTADOS DE ANÁLISES DA ÁGUA DE POÇOS
SUBTERRÂNEOS RASOS

ANEXO 10 (a)



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-Graduação em Geociências
Departamento de Geologia e Recursos Naturais

Campinas-SP, 10 de setembro de 2002.

DE: Diogo Macedo de Freitas.

PARA: Sr. José Antônio da Silva Souza.

ASSUNTO: Resultado de análise da água de poço subterrâneo raso.

Prezado Senhor,

A tabela abaixo mostra os resultados das análises químicas das águas coletadas na área de sua residência em 07 de maio de 2002.

As análises foram executadas na data 07/05/02, no Centro de Análises da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda, sob a solicitação de número 020/2002.

	pH	Na	K	Ca	Mg	Fe _{total}	HCO ₃	SO ₄	Cl	CO ₃	N _{total}
	Valores em mg/l										
Ponto 1	6,6	55,6	7,9	37,6	18,7	6,3	15,2	138,5	142	0	2,7
Ponto 2	6,3	1151,7	327,6	539,2	520,6	1,2	12,2	2191	2237	0	4,2
Limites	6,5 a 8,5	200	<10	10 a 100	1 a 40	0,3		250	250		10 (Nitrato)

Estes limites são recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e pela portaria 1469 do Ministério da Saúde, exceto o potássio (K), o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg), que foram pesquisados na literatura existente.

O Ponto 1 encontra-se em frente à porteira principal da propriedade. A água foi coletada através de um furo de trado no solo, quando a profundidade do furo atingiu o lençol freático.

Neste ponto, os resultados dos parâmetros analisados não foram satisfatórios, devido ao alto índice de ferro (6,3 mg/l), que está muito acima do limite estabelecido para o consumo humano (0,3 mg/l). O ferro em excesso pode causar problemas cardíacos e diabetes, entre outros.

O Ponto 2 localiza-se no cata-vento que alimenta a caixa d'água da lavoura. Neste ponto, os resultados são totalmente insatisfatórios. A água apresenta uma salinização muito alta. Os valores dos elementos e substâncias nesta água estão muito acima dos limites da OMS para o consumo humano, não sendo recomendada mesmo para dessedentação de animais ou irrigação.

Vale lembrar que a análise é referente apenas aos parâmetros acima citados, não abrangendo outros tipos de substâncias. Ou seja, uma análise do ponto de vista químico não tem relação outros fatores, como a microbiologia, por exemplo.

Atenciosamente,

Diogo Macedo de Freitas

Mestrando

ANEXO 10 (b)



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-Graduação em Geociências
Departamento de Geologia e Recursos Naturais

Campinas-SP, 10 de setembro de 2002.

DE: Diogo Macedo de Freitas.

PARA: Sr. Elias Carvalho de Sousa.

ASSUNTO: Resultado de análise da água de poço subterrâneo raso.

Prezado Senhor,

A tabela abaixo mostra os resultados das análises químicas das águas coletadas na área de sua residência em 06 de maio de 2002.

As análises foram executadas na data 07/05/02, no Centro de Análises da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda, sob a solicitação de número 020/2002.

	pH	Na	K	Ca	Mg	Fe _{total}	HCO ₃	SO ₄	Cl	CO ₃	N _{total}
	Valores em mg/l										
Ponto 1	7,1	83,6	41,8	20,8	13,7	0,1	18,9	40,8	177,5	0	2,7
Limites	6,5-8,5	200	<10	10-100	1 a 40	0,3		250	250		10 (Nitrato)

Estes limites são recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e pela portaria 1469 do Ministério da Saúde, exceto o potássio (K), o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg), que foram pesquisados na literatura existente.

O Ponto 1 é referente ao poço tubular raso encontrado em sua residência. Neste ponto, os resultados são satisfatórios, com exceção do valor de potássio (K). Os outros valores estão dentro dos limites estabelecidos pela OMS para o consumo humano de água.

Pelo que consta na literatura, o potássio é um elemento importante para o corpo humano. Ajuda a regular os batimentos cardíacos, controla os impulsos nervosos e as contrações musculares. Porém, o seu excesso pode causar câimbra, fadiga, paralisia muscular e diarreia. Caso alguém da casa sinta algum destes sintomas, procure um médico e informe-o sobre a água consumida, pois pode haver relação.

Vale lembrar que a análise é referente apenas aos parâmetros acima citados, não abrangendo outros tipos de substâncias. Ou seja, uma análise do ponto de vista químico não tem relação outros fatores, como a microbiologia, por exemplo.

Atenciosamente,

Diogo Macedo de Freitas
Mestrando