UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DE NATAL/RN

José Geraldo de Melo

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo
1995

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DE NATAL/RN

José Geraldo de Melo

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	nome
Presidente:	<u>Aldo da Cunha Rebouças</u>
Examinadores:	<u>Mária Szikszay</u>
	<u>Waldir Duarte Costa</u>
	<u>Samuel Murgel Branco</u>
	<u>Alberto Pacheco</u>

ass.

São Paulo
1995

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005198

**IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DE NATAL/RN**

José Geraldo de Melo

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

**São Paulo
1995**

À memória do meu pai Custódio

À minha mãe Maria Eliza.

*Às minhas filhas Fabiana, Camila e
Amanda.*

RESUMO

Neste trabalho foi estudada uma área de 90 km², onde está edificada a maior parte da cidade de Natal, com o objetivo de avaliar os riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas utilizadas no abastecimento desta comunidade. Foram delimitadas as áreas já afetadas e definido a origem e mecanismos das contaminações.

Como fundamento básico para conhecer o processo de contaminação, foi elaborado o modelo hidrogeológico conceitual. De acordo com este modelo, as unidades geológicas representadas por arenitos do Grupo Barreiras e areias de dunas, que ocorrem no domínio da área, formam um sistema hidráulico único, complexo e indiferenciado, que foi denominado Sistema Aquífero Dunas / Barreiras. Este é, em geral, do tipo livre, de elevado potencial hidrogeológico e apresenta águas de excelente qualidade físico-química em suas condições naturais. As dunas exercem a função de uma unidade de transferência das águas de infiltração em direção aos estratos inferiores do Barreiras.

Dentre os fatores potenciais de contaminação das águas subterrâneas, convém destacar o sistema de disposição local de efluentes e a ocupação irregular e desordenada do terreno. O principal tipo de contaminante envolvido é o íon nitrato.

Os resultados do monitoramento dos níveis d'água de poços mostraram que os poços situados em terrenos pouco ou não ocupados respondem mais rapidamente com a ocorrência das chuvas do que aqueles situados em áreas densamente povoadas, revelando a influência da ocupação do terreno no processo de recarga do sistema aquífero.

O mapa de curvas de iso-concentração de nitrato indicou a presença de zonas com diferentes faixas de variação nos teores de nitrato as quais se correlacionam com a densidade populacional. Em geral, nos setores menos habitados (parte sul da

área), os teores de nitrato são inferiores ao nível geral de base, ou seja 10 mg/l, enquanto que nos setores de elevada densidade populacional, o teor de nitrato atinge mais de 100 mg/l. As exceções se verificaram no caso de potencialização do fluxo subterrâneo oriundo de áreas contaminadas, que afetam setores até mesmo não habitados.

A contaminação das águas subterrâneas por nitratos ocorre, provavelmente, devido a oxidação dos amoníacos provenientes do sistema de disposição local de efluentes mediante o uso de fossas e sumidouros.

O setor norte da área estudada dispõe de uma rede de esgotamento sanitário. Entretanto, em grande parte do seu domínio os teores de nitrato nas águas subterrâneas continuam elevados em até mesmo crescentes ao longo do tempo, notadamente nos bairros mais antigos e de elevada densidade populacional. Isto se atribuiu, ao caráter cumulativo e praticamente irreversível do processo de contaminação.

ABSTRACT

This study comprises an area of 90km², where a major part of the City of Natal is located. Its purpose is to evaluate the potential risk of groundwater contamination used by the local community. The affected areas were delineated and the origin and mechanisms of contamination were defined.

A conceptual hydrogeological model was developed as a basic foundation in order to recognize the contamination process. According to this model, the geological units represented by sandstones of the Barreiras Group and sands dunes form a unique, complex and indifferented hydraulic system, named the Dunes/Barreiras Aquifer System. This is a system of high hydrogeological potential and contains water of excellent natural physico-chemical quality. The dunes transfer the infiltrating waters to the lower strata of the Barreiras Group.

Among the potential factors of groundwater contamination are the type of system used for the disposal of local waste water and the irregular and disorganized land occupation. The principal contaminating agent involved is the nitrate ion.

The results of the water levels monitoring of various wells revealed that they ones located in unoccupied or sparsely populated areas respond quickly to rain run-off than those in densely populated areas, demonstrating the influence of land occupation in the recharge of the aquifer system.

The map of nitrate iso-concentration curves indicated the presence of different variation bands in the nitrate contents, which are related to population density. Generally, in the less habited sector (southern part of the area) the nitrate content is lower at the general base level, i.e. 10mg/l, while in the sectors of high population density the nitrate content reaches over 100 mg/l. Exceptions were verified as cases of potential underground flow from contaminated areas, affecting even uninhabited sectors.

The groundwater contamination by nitrates is probably due to ammonia oxidation caused by the systems of sewerage disposal into cessopools and cesspits.

The northern sector of the studied area has a network of sanitary sewerage. Nevertheless, in a large part of this domain, the nitrate content in groundwater remains high and even increase with time, particularly in the older boroughs which have a higher population density. This is attributed to the cumulative and practically irreversible character of the contamination process.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN), nas pessoas do engenheiro Francisco Pancrácio Madruga - Ex-Diretor de Engenharia; engenheiro Wilmar Ferreira da Rocha - Ex-Gerente de Operações e Geólogo Marcelo Augusto Queiroz - Chefe da Divisão de Hidrogeologia, pelo apoio concedido para a realização deste trabalho. Ao engenheiro Afonso Holanda de Araújo, do Laboratório Central da Divisão de Apoio ao Desenvolvimento Operacional e Tratamento da CAERN, pela atenção e colaboração prestados na execução das análises físicas e químicas.

Agradecimentos especiais são dedicados ao Orientador, o Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças, pelas críticas, sugestões e incentivo propiciados na elaboração desta Tese.

Externa também seus agradecimentos aos professores da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), o Dr. Zacheu Luiz Santos, do Departamento de Química e o Dr. Tanguirala V. Subrahmaniam, do Departamento de Geologia, pelas discussões e orientação na parte referente a metais pesados. Ao Prof. Dr. José Salim do Departamento de Geologia pela contribuição na leitura, críticas e correção do texto.

Ao Instituto de Planejamento Urbano de Natal (IPLANAT) e à Coordenadoria de Vigilância a Saúde (COVISA), pela colaboração no cadastramento das fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.

Aos técnicos da CAERN José Ronaldo de Araújo, Jean Ferreira de Brito e Idelfonso Gomes Barreto, pela participação nos trabalhos de campo.

Finalmente, o autor agradece a todos àqueles que direta ou indiretamente deram sua parcela de contribuição na elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 - Situação Geográfica e Dimensões da Área Estudada	2
1.2 - Importância das Águas Subterrâneas de Natal	2
1.3 - Objetivos do Trabalho	5
1.4 - Metodologia	6
2. CONDICIONAMENTO FÍSICO	10
2.1 - Clima	11
2.1.1 - Precipitação	11
2.1.2 - Temperatura	12
2.1.3 - Insolação	12
2.1.4 - Ventos e umidade relativa	14
2.1.5 - Evaporação e evapotranspiração	14
2.1.6 - Tipo de clima e balanço hídrico	15
2.2 - Relevo e Hidrografia	17
2.3 - Geologia	19
2.3.1 - Síntese da geologia regional	19
- Embasamento cristalino	20
- Sedimentos cretáceos	20
- Sedimentos terciário-quaternários	20
- Sedimentos quaternários	21
2.3.2 - Geologia da área estudada	22
- Grupo Barreiras (Formação Guarapes)	24
- Grupo Barreiras (Formação Macaíba)	25
- Dunas	25
- Aluviões	26

3. O SISTEMA HÍDRICO SUBTERRÂNEO	27
3.1 - O Modelo Hidrogeológico Conceitual	29
3.1.1 - Componentes do sistema hidrogeológico e parâmetros hidráulicos	29
- Parâmetros hidráulicos das dunas	30
- Parâmetros hidráulicos do Barreiras	34
3.1.2 - Relação de potencial hidráulico	36
3.1.3 - Fluxo subterrâneo	41
3.1.4 - Profundidade do nível das águas subterrâneas	46
3.2 - Condições de Exploração	48
3.3 - Potencialidades do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras	50
 4. FUNDAMENTOS BÁSICOS DA QUALIDADE DAS ÁGUAS E CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA	 53
4.1 - Normas de Potabilidade	55
4.2 - Resultado das Análises Químicas	57
4.2.1 - Análises químicas parciais	57
4.2.2 - Análises químicas completas	61
4.3 - Avaliação Hidrogeoquímica	62
4.4 - Agressividade das Águas	72
 5. FATORES DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	 75
5.1 - Caracterização das Fontes Potenciais de Contaminação das Águas Subterrâneas de Natal.	78
5.1.1 - Disposição local de efluentes domésticos	78
5.1.2 - Atividades industriais	80
5.1.3 - Disposição no solo de resíduos sólidos	82
5.1.4 - Postos de combustível e oficinas mecânicas	85
5.1.5 - Hospitais e cemitérios	86
5.1.6 - Expansão urbana	87

5.1.7 - Outras fontes ou atividades impactantes	88
5.2 - Processos de Transporte e Atenuação dos Contaminantes	90
5.2.1 - Interações físicas com o solo	91
5.2.2 - Reações químicas	92
5.2.3 - Processo de diluição	93
5.2.4 - Fatores hidrogeológicos do meio insaturado	94
6. AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ..	99
6.1 - Documentação de Base	100
6.2 - Microorganismos Patogênicos	103
6.3 - Os Compostos Nitrogenados	107
6.3.1 - A formação dos compostos nitrogenados	107
6.3.2 - Efeitos nocivos à saúde pela ingestão de nitratos	111
6.3.3 - Distribuição espacial, origem e mecanismos de contaminação das águas subterrâneas de Natal por nitratos	112
6.3.4 - Relação do íon nitrato com a condutividade elétrica, pH e outros componentes hidroquímicos fundamentais	118
6.3.5 - Comportamento dos teores de nitrato nas águas subterrâneas de Natal com o tempo	123
6.4 - Metais Pesados	128
6.4.1 - Comportamento geoquímico dos metais pesados	128
6.4.2 - Avaliação de resultados de análises de metais pesados das águas subterrâneas na área de natal	129
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	136
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
9. ANEXOS	155
9.1 - Resultados do Cadastramento de Pontos d'Água	155

9.2 - Perfis Litológicos e Construtivos dos Poços Tubulares do Sistema Público de Abastecimento d'Água	172
9.3- Parâmetros Hidroquímicos de Águas de Poços de Captações do Sistema Público de Abastecimento d'Água (26/07 a 11/08/93) . .	182
9.4- Parâmetros Hidroquímicos de Águas de Poços Particulares (16/08 a 12/09/1993)	186
9.5 - Resultados de Análises Físicas de Águas de Poços Tubulares (24/01 a 08/02/1994)	189
9.6 - Resultados de Análises Químicas de Águas de Poços (01/02 a 16/05/1994)	191
9.7 - Resultados de Análises de Metais Pesados Obtidos no Laboratório da CDM (1994)	194

RELAÇÃO DE TABELAS

Tab. 2.1 - Evapotranspiração potencial no período 1931 - 1960 (Método de Turc) Estação Meteorológica M.A. - Natal/RN	15
Tab. 3.1 - Variação de espessura das dunas nos poços de captação do Sistema Público de Abastecimento d'Água.	30
Tab. 3.2 - Resultado dos ensaios de permeabilidade nas dunas pelo método de rebaixamento acima do nível d'água.	32
Tab. 3.3 - Parâmetros hidráulicos do Barreiras, segundo Relatórios Técnicos das captações da CAERN (1978-1994)	35
Tab. 3.4 - Cargas hidráulicas de poços rasos e profundos na área da captação Lagoa Nova I (ACQUA-PLAN, 1988)	39
Tab. 3.5 - Descarga do fluxo subterrâneo	43
Tab. 3.6 - Captações do Sistema Público de Abastecimento e volumes d'água explotados	49
Tab. 4.1 - Concentração limites de constituintes inorgânicos para a qualidade da água potável (OMS, 1984)	56

Tab. 4.2 - Concentrações limites de constituintes orgânicos para a qualidade da água potável (OMS, 1984)	57
Tab. 4.3 - Parâmetros estatísticos de valores de pH, condutividade elétrica, cloreto e nitrato de águas de cacimbões e fontes (dezembro de 1992 a março de 1993)	58
Tab. 4.4 - Parâmetros estatísticos de valores de pH, condutividade elétrica, cloreto e nitrato de águas de poços tubulares profundos (julho a setembro de 1993)	58
Tab. 4.5 - Parâmetros estatísticos de valores de pH, condutividade elétrica, cloreto e nitrato de águas de poços do Sistema Público de Abastecimento d'Água (A) e particulares (B). (julho a setembro de 1993).	59
Tab. 4.6 - Parâmetros estatísticos de dados hidroquímicos de poços tubulares (janeiro a março de 1994)	62
Tab. 4.7 - Ions dominantes nas águas subterrâneas obtidos a partir de dados de análises de 1988	66
Tab. 4.8 - Valores de índice de troca de bases (ITb) das águas subterrâneas obtidas a partir de dados de análises de 1988	67
Tab. 4.9 - Íons dominantes nas águas subterrâneas (janeiro a maio de 1994)	71
Tab. 4.10 - Valores de índice de troca de bases das águas subterrâneas (janeiro a maio de 1994)	71
Tab. 4.11- Índice de saturação de Langelier (I_L)	74
Tab. 5.1 - Categoria de perigo potencial para as águas subterrâneas devido as atividades industriais na cidade de Natal/RN	83
Tab. 6.1 - Teores de nitrato nas águas dos reservatórios de distribuição de água à população de Natal (agosto de 1994)	102
Tab. 6.2 - Resultados dos coliformes totais (CT) de análises bacteriológicas de águas de poços - NMP/100ml de amostra.	105
Tab. 6.3 - Resultados dos coliformes totais (CT) de análises bacteriológicas de águas de poços do Sistema Público de Abastecimento -	

NMP/100ml de amostra (16/05/1994)	106
Tab. 6.4 - Resultado de análises bacteriológicas de águas de poços para coliformes totais (CT) e coliformes fecais (CF) (31/05/1994) . . .	106
Tab. 6.5 - Compostos nitrogenados nas águas subterrâneas de Natal (valores em mg/l)	111
Tab. 6.6 - Teores de nitrato nas águas de poços do Sistema Público de Abastecimento em diferentes épocas	124
Tab. 6.7 - Teores de nitrato nas águas de poços particulares em duas diferentes épocas	125
Tab. 6.8 - Teores de nitrato em águas de poços tubulares na estação seca e chuvosa	127
Tab.6.9 - Resultados de análises de metais pesados (Figueredo, 1991)	130
Tab. 6.10 - Teores de Pb e Cr (em mg/l), obtidos nos poços 123,03 e 161	132
Tab. 6.11 - Comparação dos resultados das análises de metais pesados executadas em março de 1994 nos laboratórios da CDM/ Natal/ RN e COMPESA/ Recife/ PE	133
Tab. 6.12 - Resultados de análises de metais pesados executadas no laboratório da CDM/RN de amostras d'água coletadas em um mesmo tempo	135

RELAÇÃO DE FIGURAS

Fig. 1.1 - Situação geográfica da área estudada de Natal	3
Fig. 2.1 - Pluviometria média mensal. SUDENE - Posto Natal (período 1910-1979)	12
Fig. 2.2 - Variação dos dados meteorológicos. UFRN - Estação Climatológica Principal (Período: 1984-1993)	13
Fig. 2.3 - Disponibilidades de água no solo. SUDENE/DRN - Estação Meteorológica M.A. (Período: 1931-1960)	16
Fig. 2.4 - Geologia da área estudada de Natal	23

Fig. 3.1 - Captações do Sistema Público de Abastecimento d'Água de Natal (abril 1994)	31
Fig. 3.2 - Ensaio de permeabilidade em sondagens acima do nível d'água - Método do rebaixamento sem revestimento na perfuração (ABGE, 1990)	33
Fig. 3.3 - Secção hidrogeológica 1	37
Fig. 3.4 - Secção hidrogeológica 2	38
Fig. 3.5 - Variação sazonal do nível d'água em poços tubulares	40
Fig. 3.6 - Formação de aquífero suspenso na área de Pirangi (fevereiro 1993)	41
Fig. 3.7 - Potenciometria do sistema aquífero Dunas/Barreiras (fevereiro 1993)	42
Fig. 3.8 - Potenciometria do sistema aquífero Dunas/Barreiras envolvendo as captações Lagoa Nova I, Lagoa Nova II e parte da captação Dunas (março 1994)	45
Fig. 3.9 - Curvas de iso-profundidade do nível das águas subterrâneas (fevereiro 1993)	47
Fig. 3.10 - Representação esquemática do funcionamento hidráulico do sistema aquífero Dunas/Barreiras.	52
Fig. 4.1 - Histogramas de Cl, C, NO ₃ e pH de águas de poços do Sistema Público de Abastecimento (30/07 a 11/08/1993)	60
Fig. 4.2 - Histogramas de Cl, C, NO ₃ e pH de águas de poços particulares (12/08 a 12/09/1993).	60
Fig. 4.3 - Localização dos poços com análise química completa	63
Fig. 4.4 - Representação trilinear de resultados de análises químicas de águas de poços, piezômetros e lagoas (março a julho de 1988)	64
Fig. 4.5 - Representação em colunas de resultados de análises químicas de águas de poços (março a julho de 1988)	65
Fig. 4.6 - Representação trilinear de resultados de análises químicas de águas de poços (24/01 a 16/05/1994)	69
Fig. 4.7 - Representação em colunas de resultados de análises químicas de águas de poços (24/01 a 29/03/1994)	70

Fig. 4.8 - Diagrama de Hoover-Langelier para determinar o pH de equilíbrio de uma água em função da temperatura, resíduo seco, concentração de cálcio e alcalinidade TAC (Custódio & Lamas, 1976).	73
Fig. 5.1 - Esquema conceitual de risco de contaminação (Foster <i>et al</i> , 1987) . . .	77
Fig. 5.2 - Fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas	79
Fig. 5.3 - Perigo potencial de contaminação em função das condições de saneamento e densidade populacional	81
Fig. 5.4 - Secção hidrogeológica esquemática no local do aterro sanitário de Natal	85
Fig. 5.5 - Resumo dos processos de atenuação de contaminantes nas águas subterrâneas (Gowber, 1983; Foster & Hirata, 1991)	90
Fig. 5.6 - Potencial matricial e condutividade hidráulica em função da umidade (Bogomolov & Khachaturian, 1985)	95
Fig. 5.7 - Esquema de um tensiômetro (Reichardt, 1985)	96
Fig. 6.1 - Fontes e caminhos do nitrogênio no ambiente sub-superficial (Freezl & Cherry, 1979)	108
Fig. 6.2 - Equilíbrio amônio-amoníaco em função do pH (Klee, 1975 e Cherry, 1979)	109
Fig. 6.3 - Curvas de iso-concentração de nitrato nas águas subterrâneas (fevereiro 1993)	113
Fig. 6.4 - Teores de nitrato nos bairros Cidade Satélite e Pirangi	114
Fig. 6.5 - Contaminação das águas subterrâneas por nitratos na área de captação Dunas no bairro Morro Branco	116
Fig. 6.6 - Contaminação das águas subterrâneas por nitratos na área da captação Dunas no bairro do Tirol	117
Fig. 6.7 - Zoneamento dos teores de nitrato nas águas subterrâneas (fevereiro 1993)	119
Fig. 6.8 - Correlação do íon nitrato com outros parâmetros hidroquímicos nas águas de poços tubulares (fevereiro 1994)	120

Fig. 6.9 - Correlação do íon nitrato com outros parâmetros hidroquímicos nas águas de cacimbões (dezembro 1992 a março 1993)	120
Fig. 6.10 - Condutividade elétrica das águas subterrâneas (fevereiro 1993)	122
Fig. 6.11 - Tendência da evolução dos teores de nitrato com o tempo nas águas de poços das captações Dunas e Cidade Satélite	126
Fig. 6.12 - Tendência da evolução dos teores de nitrato com o tempo nas águas dos poços P3A e P5 da captação Dunas	127
Fig. 6.13 - Variação nos teores de metais pesados na água de poços, referente aos meses de janeiro, fevereiro e março de 1994 (valores em ppm x 100)	131

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 - Situação Geográfica e Dimensões da Área Estudada

A área deste estudo situa-se no município de Natal (RN), abrangendo a maior parte da zona urbana e cobrindo uma superfície de cerca de 90 km² (Fig. 1.1). Está compreendida entre os rios Potengi, a oeste, Pitimbu, a sul, e o Oceano Atlântico, a leste, e delimitada pelas coordenadas geográficas 5°45'30" e 5°54'10" S e 35°09'41" e 35°16'45" W.

1.2 - Importância das Águas Subterrâneas de Natal

O Sistema Público de Abastecimento d'Água da cidade de Natal, administrado pela Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN), atende cerca de 95% da comunidade local com água potável. A população atual do município no domínio da área de estudo, é da ordem de 510.000 habitantes, segundo dados oficiais do IBGE para 1991 projetados para 1994 com índice de crescimento de 3,5%. A demanda anual de água é de aproximadamente $56 \times 10^6 \text{ m}^3$, estimada pela equação a seguir.

$$D = \frac{PYK_1}{1000}, \quad \text{onde:} \quad (\text{Eq. 1.1})$$

D = demanda d'água em m³/ano;

P = população = 510.000 habitantes

Y = quota per capita = 250 l/dia

K₁ = coeficiente do dia de maior consumo, de 1,2.

De acordo com dados fornecidos pelo Distrito Metropolitano da CAERN (abril de 1994), é bombeado anualmente dos mananciais subterrâneos e superficiais um volume d'água da ordem de $64 \times 10^6 \text{ m}^3$ para o suprimento local, o que equivale a um

Fig. 1.1. Situação geográfica da área estudada de Natal.

excedente de água de $10,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ além das necessidades (atender a 95% da comunidade), havendo portanto cerca de 17% de perdas.

O volume d'água explotado do manancial subterrâneo é de cerca de $47,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, o que representa 74% do total de recursos destinados à cidade. O restante, 26%, são águas provenientes da Lagoa de Jiqui, situada fora da área deste trabalho.

No ano 2010 a população local, segundo projeções estatísticas, com índice de crescimento de 3,5%, deverá atingir 884000 habitantes. As necessidades hídricas para o total reabastecimento, de acordo com a equação das demandas, deverão atingir quase $97 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Considerando o mesmo percentual de uso das águas subterrâneas com relação às águas superficiais (Lagoa), a demanda de água subterrânea no ano 2010 será da ordem de $70,8 \times 10^6 \text{ m}^3$, o que corresponde a um volume d'água 1,26 vezes superior às necessidades atuais. Como a lagoa de Jiqui encontra-se atualmente já próximo do seu limite máximo de exploração, a oferta de água subterrânea no futuro deverá ser, na realidade, bem maior.

Como pode ser constatado, as águas subterrâneas constituem a principal fonte de suprimento hídrico para a cidade de Natal e, reconhecidamente, é o manancial mais seguro e viável de utilização.

Apesar de sua importância, as águas subterrâneas estão sujeitas à degradação devido a ações impactantes sobre a superfície do solo que se traduzem em riscos de contaminação por um sistema de esgotamento sanitário ainda deficitário, bem como pela ocupação irregular e desordenada do terreno. Existe pouca ou nenhuma preocupação a cerca dos riscos de contaminação das águas subterrâneas de Natal por parte dos órgãos do Planejamento Urbano e administradores dos recursos de água, e até por parte dos próprios órgãos ambientalistas.

Deve-se adiantar que, no caso de aquíferos, a repercursão de impactos ao meio exterior ocorre em prazos relativamente longos e de efeitos cumulativos, tornando

o manancial difícil de recuperação quer por processos naturais ou artificiais, requerendo em muitos casos altos investimentos nem sempre com resultados satisfatórios.

Diante da importância que representa as águas subterrâneas de Natal na qualidade de vida da população, as mesmas devem ser tratadas como prioritárias entre as preocupações ambientais.

1.3 - Objetivos do Trabalho

Este trabalho, sob título "IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE NATAL/RN" tem por objetivo principal avaliar os riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas de Natal devido às ações impactantes sobre a superfície do solo e identificar as áreas já afetadas, diagnosticando sobre a origem e mecanismos das contaminações.

Para atender ao objetivo geral do projeto, o cumprimento de alguns objetivos específicos básicos são fundamentais, tais como o estabelecimento do modelo hidrogeológico conceitual e a caracterização das fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.

Os conhecimentos a serem adquiridos com a execução deste estudo deverão servir de base para a elaboração de um programa de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas visando a proteção do manancial.

É meta também deste estudo estabelecer diretrizes que possam orientar os responsáveis pelo uso das águas quanto ao projeto, localização e exploração adequada de poços, como também servir de base para os órgãos de planejamento urbano, no que concerne ao uso e ocupação do terreno sem pôr em risco a quantidade e qualidade das águas subterrâneas.

1.4 - Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido no período julho de 1992 a novembro de 1994. Inicialmente, foi efetuado um levantamento de todos os trabalhos já realizados de interesse à pesquisa, com coleta de dados e análise das informações, de forma a constituírem subsídios para o desenvolvimento deste estudo, após o qual foi executado o reconhecimento geral de campo. Posteriormente, foram programadas as várias fases da pesquisa tendo em vista, fundamentalmente, os objetivos da mesma, segundo os alvos a seguir:

- Estabelecimento do modelo hidrogeológico conceitual;
- caracterização das fontes potenciais de contaminação;
- situação da qualidade das águas em função das fontes potenciais de contaminação;
- diagnóstico sobre a origem e mecanismos das contaminações;
- definição de critérios visando a preservação da qualidade das águas subterrâneas.

- Modelo hidrogeológico conceitual

Foi estabelecido mediante o conhecimento da estrutura hidrogeológica e funcionamento hidráulico do sistema aquífero, que compreendeu a elaboração do mapa geológico, seções hidrogeológicas, mapa potenciométrico, mapa de profundidade do nível das águas subterrâneas, análise dos resultados do monitoramento do nível d'água de poços e piezômetros, e definição de parâmetros hidráulicos das unidades do sistema aquífero.

Elaborou-se o mapa geológico com base em trabalhos existentes complementados por observação de campo e por dados das sondagens de reconhecimento hidrogeológico executadas para este fim.

As seções hidrogeológicas resultaram da correlação de perfis de poços e de sondagens. Os mapas de profundidade do nível das águas subterrâneas e potenciométrico foram obtidos a partir de informações do cadastramento de pontos d'água realizado no período dezembro de 1992 a fevereiro de 1993. As profundidades do nível das águas, medidas com o auxílio de medidores sonoros e com amperímetros. As cotas topográficas no local de cada ponto d'água, obtidas de mapas planialtimétricos, na escala 1:2.000.

Os parâmetros hidrodinâmicos das unidades aquíferas são definidos com base na análise e reavaliação de dados de estudos anteriores e na interpretação de resultados de ensaios executados durante este estudo.

- Fontes potenciais de contaminação

Foi feita a caracterização das fontes potenciais de contaminação a partir dos resultados de um cadastramento em campo das atividades que potencialmente poderiam vir a contaminar as águas subterrâneas, mediante o preenchimento de fichas previamente elaboradas para esta finalidade.

- Qualidade das águas subterrâneas

Durante o cadastramento dos pontos d'água coletou-se amostras d'água e determinou-se os valores de condutividade elétrica, pH, cloreto e nitrato. Os valores de condutividade foram medidos em campo com o auxílio de um condutivímetro portátil de fabricação suíça modelo METHRON 587, e em laboratório, utilizando um condutivímetro portátil HACH. Quanto ao pH, utilizou-se papel indicador em campo e em laboratório as determinações foram efetuadas com pH metro digital PHD-10 marca Procyon.

Os teores de nitrato das água coletadas foram determinados em laboratório pelo método colorimétrico utilizando um colorímetro B-220 da Micronal. De posse desses resultados elaborou-se os mapas de iso-valores de condutividade e iso-valores de nitrato. As determinações em laboratório referidas, ocorreram no Laboratório Central da Divisão de Apoio ao Desenvolvimento Operacional e Tratamento da CAERN.

Numa segunda fase dos estudos (fevereiro-março de 1994), foram amostrados 30 poços selecionados para análise física e análise química completa das águas, inclusive metais pesados, em três diferentes campanhas de amostragem. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Análise e Tratamento de Minério da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte (CDM/RN) e o Laboratório de Análises d'água da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) na cidade de Recife. Neste último laboratório foram analisados somente metais pesados.

Os parâmetros determinados foram:

- Íons principais: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ;
- Íons secundários: K^+ , CO_3^{2-} , Fe^{2+} e PO_4^{3-} ;
- Compostos iônicos nitrogenados: NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- ;
- Metais pesados: Cr, Pb, Zn, Cd e Ni.

Procedeu-se também a execução de análises bacteriológicas (no Laboratório da CAERN) com a determinação de coliformes totais e fecais.

As amostras foram coletadas em recipientes de polietileno, capacidade de 2.000ml, lavadas e devidamente esterilizadas. No caso dos metais pesados os recipientes foram lavados com HNO_3 1:1 e enxaguados com água destilada e deionizada.

As amostras, após a coleta, foram preservadas de acordo com o guia técnico de coleta de amostras d'água da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental / CETESB (Souza & Derisio, 1977).

Os cátions Na^+ e K^+ foram dosados utilizando um fatômetro de chama B-260 da Micronal. No caso dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e CO_3^{2-} foi utilizado o procedimento titulométrico. O SO_4^{2-} foi dosado pelo método turbidimétrico com o auxílio do turbidímetro HACH. Os compostos nitrogenados foram determinados utilizando um colorímetro B-220 da Micronal. Os metais pesados foram dosados através de espectrofotômetro de absorção atômica, utilizando as lâmpadas específicas para cada íon. As análises bacteriológicas foram realizadas através da técnica da membrana filtrante. Para os coliformes totais utilizou-se o meio M-Endo Agar Les e no caso dos coliformes fecais, o meio MFC/Agar Lactosado.

Os resultados das análises químicas completas foram submetidos a um balanço iônico como forma de avaliar o nível de precisão dos resultados, tendo sido considerado nas avaliações hidroquímicas apenas aqueles com erro dentro dos limites padrões. Os resultados da análises de metais pesados foram testados no Laboratório da CDM, mediante a execução de análises de amostras d'água de 10 poços selecionados com a coleta simultânea de três amostras em cada poço.

A classificação química das águas, bem como a origem e a evolução da qualidade das águas foi definida através do método de triangulação segundo Piper e diagrama colunares.

A origem e os mecanismos das contaminações foram avaliados mediante o conhecimento do modelo hidrogeológico conceitual, das fontes potenciais de contaminação e dos parâmetros indicadores das contaminações. Uma análise comparativa entre a densidade populacional e os níveis de nitrato nas águas subterrâneas foi também efetuada.

2. CONDICIONAMIENTO FÍSICO

2.1 - Clima

Será analisado nesta parte do trabalho os elementos do clima que condicionam as reservas d'água subterrânea.

Dentre as componentes do ciclo hidrológico, as precipitações pluviométricas e a evapotranspiração potencial são os mais importantes parâmetros nas avaliações das disponibilidades hídricas climáticas anuais dos solos de uma área. A evapotranspiração potencial é afetada por vários elementos climáticos, como temperatura, insolação, pressão, umidade e vento. Os fatores climáticos têm também influência considerável sobre o quimismo das águas naturais mediante processos de diluição, concentração ou aumento da solubilidade.

2.1.1 - Precipitação

A precipitação pluviométrica na área de Natal, de acordo com os dados fornecidos pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) para o posto de Natal, período 1910-1979, atingiu um máximo de 3.511mm e um mínimo de 530mm, com média anual de 1.563mm. Segundo Maurício (1970), na Estação Meteorológica M.A., Natal, período 1931-1960, as precipitações pluviométricas foram em média de 1.547mm. Na Estação Climatológica Principal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), no período 1984-1993, as alturas das lâminas d'água pluviométricas variaram de 858mm (em 1993) a 2.545mm (em 1988), com média anual de 1.676mm.

As maiores precipitações pluviométricas ocorrem nos meses de abril, maio e junho e as menores, nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro (Fig. 2.1 e Fig. 2.2.A).

Fig. 2.1. - Pluviometria média mensal
SUDENE - Posto Natal
(Período 1910 - 1979)

Meio (1995)

2.1.2 - Temperatura

As temperaturas médias mensais anuais na área de Natal na Estação Meteorológica M.A., período 1931-1960, variaram de 24,4 a 27,3°C, com média anual de 26,2°C e amplitude térmica de 2,9°C, de acordo com dados contidos em Mauricio (1970). Na Estação Climatológica Principal da UFRN, período 1984-1993, as temperaturas variaram de 25,2 a 27,8°C, com média anual de 26,8°C e amplitude térmica de 2,6°C. Os meses mais quentes do ano são dezembro, janeiro e fevereiro, que corresponde ao final da estação seca e início das chuvas. Os meses mais frios são junho, julho e agosto, na estação chuvosa (Fig. 2.2.A e Fig. 2.2.B).

2.1.3 - Insolação

De acordo com os dados da Estação Climatológica da UFRN, período 1984-1993, as maiores insolações ocorrem nos últimos meses do ano (período seco), com valor que atinge 288 horas (outubro). Os meses menos insolarados são os que vão de fevereiro a julho, com valor mínimo de 189 horas (Fig. 2.2.C). A insolação média anual está compreendida entre 2591 e 3189 horas.

Fig. 2.2. - Variação de dados meteorológicos
UFRN - Estação Climatológica Principal
(Período: 1984 - 1993)

Melo (1995)

2.1.4 - Ventos e umidade relativa

As informações sobre ventos e umidade relativa são apresentadas com base em dados da Estação Climatológica Principal da UFRN, período 1984-1993.

A direção predominante dos ventos é do quadrante Sudeste para Noroeste, oriundos do Oceano Atlântico. As velocidades variam de 3,6 a 5,1 km/hora, com média de 4,4 km/hora. Os maiores valores ocorrem nos meses de setembro, outubro e novembro, coincidentes em geral com o período mais seco do ano, enquanto que as menores velocidades são registradas nos meses de março e abril, na estação úmida (Fig. 2.2.D).

A média mensal anual de umidade relativa do ar varia de 72,7% a 82,0%. Os valores máximos são atingidos nos meses de abril, maio, junho e julho, que correspondem em grande parte ao período de temperaturas mais baixas. Os valores mínimos ocorrem nos últimos meses do ano e, também, no início (janeiro), quando as temperaturas são mais elevadas (Fig. 2.2.E).

2.1.5 - Evaporação e evapotranspiração

A taxa de evaporação medida em evaporímetro PICHE no período de 1984-1993, na Estação Climatológica Principal da UFRN, atingiu um total médio anual de 2.133mm. A evapotranspiração potencial anual foi calculada pelo Método de TURC (1960) conforme Castany (1975), mediante a aplicação da seguinte equação:

$$ETp = 0,40(Ig+50) * \frac{t}{t+15}, \quad \text{onde:} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

ETp = Evapotranspiração Potencial (mm)

t = temperatura média mensal no período (1931-1960)

I_g = Índice global de radiação ($\text{Cal}/\text{cm}^2/\text{dia}$), obtidos por leitura nos mapas de BLACK para cada mês.

No caso do mês de fevereiro o valor 0,40 deve ser substituído por 0,37. A Tab. 2.1 apresenta os dados de temperatura, índice global e resultados da evapotranspiração. O total anual de evapotranspiração é de 1549 mm.

Tab. 2.1 - Evapotranspiração potencial no Período 1931-1960 (Método de Turc)
Estação Meteorológica M.A. - Natal/RN

Melo (1995)

MÊS	I_g ($\text{Cal}/\text{Cm}^2/\text{dia}$)	t ($^{\circ}\text{C}$)	ETP
JAN	500	27,2	142
FEV	480	27,3	127
MAR	470	27,3	134
ABR	400	26,7	115
MAI	370	26,0	106
JUN	370	24,9	105

MÊS	I_g ($\text{Cal}/\text{Cm}^2/\text{dia}$)	t ($^{\circ}\text{C}$)	ETP
JUL	400	24,4	112
AGO	430	24,5	119
SET	500	25,5	138
OUT	550	26,3	153
NOV	550	26,7	154
DEZ	510	27,0	144

TOTAL ANUAL DE ETP = 1549 mm

Com base nos valores de precipitação para o período considerado e das evapotranspirações calculadas, a evapotranspiração real foi avaliada pelo Método de Thornthwaite (Castany, 1975), tendo sido obtido 1.016mm.

2.1.6 - Tipo de clima e balanço hídrico

De acordo com a classificação de Koppen (Ministério da Agricultura, 1969), Natal apresenta um tipo climático AS'. É um clima quente e úmido com estação seca no verão e chuvas no outono-inverno, ou seja nos meses de setembro a janeiro e fevereiro a agosto, respectivamente.

A Fig. 2.3 mostra o balanço hídrico estabelecido pelo método de Thornthwaite, para o período 1931-1960, onde se pode avaliar as disponibilidades de

água no solo. O ano inicia-se com um "déficit" hídrico de 140mm, em seguida começa a infiltrar água no solo até a saturação, com excedente de 532mm. A partir do mês de agosto, a água do solo é novamente retirada até novo "déficit" que, no final do ano, atinge 393mm. O déficit hídrico anual total é de 533mm.

Das águas de chuva que caem sobre a superfície do solo, parte se escoa, parte é evapotranspirada e parte se infiltra no solo. A parte que efetivamente se infiltra corresponde ao excesso de água do solo, avaliada em 532mm. Considerando a precipitação média de 1547mm (do período correspondente), obtem-se uma taxa de infiltração de 34%. Essas informações são apenas indicativas de ordem de grandeza, já que a evapotranspiração potencial é obtida por fórmulas empíricas e a reserva d'água no solo foi arbitrada em 100mm.

2.2 - Relevo e Hidrografia

A área de estudo está compreendida entre duas unidades hidrográficas de extensão regional que são os rios Potengi e Pitimbu. O rio Potengi limita a área nos setores norte e oeste. É de porte relativamente elevado e provém de terrenos cristalinos do semi-árido do Estado do Rio Grande do Norte, tornando-se perenizado somente na zona costeira, dado às contribuições de ressurgências de águas subterrâneas dos sedimentos do Grupo Barreiras. No domínio da área de estudo o rio Potengi é afetado pelas flutuações das marés.

O rio Pitimbu é um rio de menor porte, perene, que limita a área no setor sul. Está encravado nos sedimentos do tipo Barreiras e é alimentado por ressurgências de águas subterrâneas desta formação geológica. Cerca de 5km a jusante da área de estudo, localiza-se no seu leito a Lagoa de Jiqui que contribui com parte da demanda d'água da cidade de Natal.

No interior da área existem três riachos tributários do rio Potengi. São os riachos da Prata, das Lavadeiras e do Baldo (Fig. 1.1). Todos eles são perenes, sendo que os dois últimos recebem descargas de esgotos.

As feições geomorfológicas desenvolvidas na área propiciam uma drenagem simples, com reduzidos escoamentos e elevadas taxas de infiltração. A impermeabilização artificial provocada pelas pavimentações produz, entretanto, fortes escoamentos superficiais e alagamentos, afetando desta feita as condições naturais de drenagem das águas (ACQUA-PLAN, 1988; Melo & Figueredo, 1990).

De forma genérica, podem ser individualizadas três feições morfológicas principais: planícies de inundação, superfícies de aplainamento e elevações dunares.

As planícies de inundação representam as zonas de mangues e as planícies aluviais que estão sob a influência das flutuações das marés. Ocorrem de forma expressiva no setor norte-noroeste da área no domínio do estuário do Potengi. As cotas

topográficas situam-se em geral abaixo de 10m. Esta feição acha-se parcialmente aterrada e pavimentada artificialmente pelo homem.

A superfície de aplainamento corresponde à área de maior abrangência, onde está efetivamente edificada a cidade de Natal. O relevo é suavemente ondulado com cotas topográficas em torno de 40m, marcada por elevações que atingem mais de 50m e pequenas depressões com cotas menores que 30m, onde se formam lagoas. É o caso das lagoas do Centro Administrativo, do Preá e São Conrado, entre outras. Na superfície de aplainamento, estão situados os drenos superficiais dos vales do Baldo, das Lavadeiras e da Prata. Esta superfície, com certa frequência, acha-se limitada por falésias dos sedimentos Barreiras, com até 20m de altura.

As elevações dunares, são as superfícies com cotas superiores a 50m. Destaca-se na paisagem regional o "Parque das Dunas" no setor oriental, com largura média de 1,5km, cuja altitude atinge mais de 120m e altura que varia de 60 a 80m com relação ao sopé das elevações. Este cordão dunar, na realidade é formado de várias dunas interligadas de direção sudeste-noroeste (mesma direção dos ventos), que se acham separados por corredores e que no seu conjunto constituem um sistema único de direção norte-sul. A configuração dunar é caracterizada por vertentes mais suaves na direção dos ventos (Sudeste-Noroeste), que constitui o barlavento e mais abrupto no sentido oposto ou região de sotavento. Este cordão dunar exibe uma abundante vegetação de porte médio a elevado, com maior expressão nas zonas mais elevadas e opostas ao mar.

As elevações dunares são também expressivas no sul da área estudada, que inclui os setores do San Vale, Planalto e Ponta Negra. Em muitos casos as dunas ainda preservam a forma original. Como será visto adiante, esta ocorrência dunar é de grande importância no contexto hidrogeológico. Apesar disto, cerca de 30% da área deverá ser ocupada pela construção civil, segundo determinação do Instituto de Planejamento da Prefeitura de Natal. Uma rodovia já está sendo construída, pelo

Governo do Estado, cruzando o San Vale, o que poderá facilitar o desenvolvimento urbano no setor.

2.3 - Geologia

2.3.1 - Síntese da geologia regional

A área de estudo está situada na faixa sedimentar da costa Oriental do Estado do Rio Grande do Norte, fazendo parte de uma extensa bacia litorânea que se estende ainda pelos Estados da Paraíba e Pernambuco.

A geologia regional foi estudada por vários pesquisadores desde o início do século. Convém destacar aqui os trabalhos realizados a partir da década de 60, que procuram compreender as relações entre as sequências rochosas e a sua evolução sedimentar/geomorfológica, como: Campus & Silva (1966); Campus & Silva (1969); Campos & Silva & Coutinho (1971); Costa & Salim (1972); Salim & Coutinho (1974); Salim *et al.* (1975) e Nogueira (1981).

Do ponto de vista estrutural, feições importantes são atribuídas a falhamentos de gravidade, representados pelo graben de Natal, de direção NE-SW, graben de Parnamirim, NW-SE e graben de Ceará-Mirim, NW-SE, os quais foram evidenciados por estudos geofísicos e correlação lito-estratigráfica entre perfis de poços, segundo Campos & Silva (1970) e Costa (1970).

A coluna estratigráfica regional abrange rochas sedimentares dos períodos Cretáceo, Terciário e Quaternário, que repousam sobre rochas precambrianas do embasamento cristalino. Em ordem crono-estratigráfica, são a seguir descritos as principais características das unidades geológicas de âmbito regional.

- Embasamento cristalino precambriano

Aflora a cerca de 20km a oeste da área de estudo, sendo constituído principalmente por rochas metamórficas gnáissicas e intrusivas graníticas.

- Sedimentos cretáceos

Trata-se de uma sequência lito-estratigráfica que se posiciona discordantemente sobre o embasamento cristalino precambriano. São representados por rochas carbonáticas constituídas de calcários e arenitos calcíferos. Ocorrem em sub-superfície em todo o domínio da área estudada, conforme constatado na correlação dos perfis dos poços.

- Sedimentos tércio-quaternários

Os sedimentos tércio-quaternários são representados pela unidade designada Grupo Barreiras. A sub-divisão do Grupo Barreiras em "Formação" tem sido palco de discussões por vários pesquisadores. No presente trabalho será adotada a classificação de Mabesoone, Rolin & Castro (1977), que compreende as unidades a seguir.

Formação Serra do Martins: constitui a sequência inferior, com fácies arenosa a conglomerática. Os sedimentos são ferruginosos e silicificados, o que lhes atribui caráter de forte diagênese. A idade varia do final do Oligoceno até o início do Mioceno. Esta unidade não aflora na região de Natal e é difícil sua delimitação em sub-superfície (Salim *et al*, 1974).

Formação Guararapes: trata-se da unidade intermediária. É formada de sedimentos arenosos de cores variegadas, facies argilosa e níveis de seixo de quartzo. Acha-se coberta por um nível arenoso e siltico-argiloso, que tem sido denominado de intemperismo Riacho Morno. Esta unidade ocorre em grande parte da faixa costeira

leste do Estado, onde pode ser observada nas superfícies de aplainamento, vertentes dos vales e falésias costeiras.

Formação Macaíba: é a unidade superior do Barreiras, formada de sedimentos areno-argilosos e argilo-arenosos, com seixos na base, coloração esbranquiçada. Estes depósitos são capeados por sedimentos de areia argilas, vermelhas, amareladas e creme, que têm sido denominados de intemperismo Potengi.

- Sedimentos quaternários

Como sedimentos recentes estão incluídos os seguintes depósitos: dunas, depósitos praias, aluviões e mangues.

Dunas: são areias bem selecionadas, geralmente quartzosas, com granulometria variando de fina a média, que se acumulam ao longo da faixa costeira pela ação dos ventos. Os grãos de areia são sub-angulosos a arredondados, podendo apresentar-se foscos ou polidos. Ocorrem mais frequentemente com coloração esbranquiçada, com tonalidades acinzentadas, amareladas e avermelhadas. Morfológicamente, mostram formas colinosas suavemente arredondadas dispostas paralelas ou semi-paralelas segundo a orientação geral SE-NW, condicionadas aos ventos predominantes da região. Costa (1970), sub-dividiu as dunas de Natal em quatro tipos distintos:

1) Dunas antigas (Pleistoceno Inferior): são as dunas retrabalhadas por vários tipos de erosão ou fixadas por vegetação, de coloração avermelhada e com cotas altimétricas entre 40 e 60m;

2) Dunas de idade intermediárias: são formadas por vegetação exuberante, de coloração amarelada e com altitudes variando entre 80 e 120m;

3) Dunas do Pleistoceno Superior: são de coloração esbranquiçada a amarelada e morfologia relativamente plana, ocupando praias e baixadas;

4) Dunas atuais: coloração esbranquiçada. São migrantes e estão localizadas nas encostas das dunas intermediárias.

Segundo os estudos realizados por Costa & Perrin (1981), as areias das dunas provém das formações continentais do Barreiras e a seleção do material é observada mais nas dunas recentes que nas dunas mais antigas.

Depósitos praias: são formados por areias finas, médias e grossas, com maior domínio dos grãos grosseiros. Ao longo das praias são encontrados recifes de arenito, formando faixas paralelas à costa. Estes, são de textura fina a média, localmente com níveis conglomeráticos e cimentados em geral.

Aluviões: são clásticos de granulometria e litologia bastante variada (Costa, 1970), os quais caracterizam zonas de depósito fluvial, lacustre e estuarino. Ocorrem na forma de areias quartzosas finas e grosseiras, mal selecionadas, com seixos de quartzo arredondados e sub-arredondados, e, em alguns casos, com matéria orgânica, turfa e argila orgânica. São encontrados margeando o estuário do rio Potengi, e, em menor escala o rio Pitimbu.

Mangues: sedimentos de mangues ocorrem margeando o estuário do rio Potengi, principalmente nas proximidades de sua desembocadura. São depósitos siltico-argilosos, muito ricos em matéria orgânica, de coloração cinza escuro.

2.3.2 - Geologia da área estudada

Correlacionando os litotipos aflorantes na área de Natal e seus posicionamentos lito-estratigráficos, com as unidades da geologia regional descritas, verifica-se que ocorrem sedimentos do Grupo Barreiras, de idade terciário-quaternária e depósitos recentes de areias de dunas e aluviões, além de sedimentos praias e mangues (Fig. 2.4).

Fig.2.4.-Geologia da área estudada de Natal.

Fonte: Modificado a partir de Costa, 1970 e Salim et al., 1976

O Grupo Barreiras acha-se representado pela Formação Guararapes e por pequenas exposições da Formação Macaíba (Nazaré Jr, 1993). Em sub superfície, de acordo com os perfis dos poços, sotopostos ao Grupo Barreiras verifica-se a presença de arenitos calcíferos de diagênese forte, e, provavelmente, idade cretácica.

- Grupo Barreiras: Formação Guararapes

Os sedimentos da Formação Guararapes afloram na maior parte da periferia da área objeto deste trabalho. Nos setores leste e norte, respectivamente na via costeira e margem direita do rio Potengi, estes sedimentos afloram em estreita faixa e em alguns casos formando falésias. No limite sudoeste da área, os sedimentos Barreiras ocorrem às margens do rio Pitimbu se estendendo para o domínio das planícies e tabuleiros, fora da área estudada.

Em escala de afloramento observou-se que estes sedimentos se distribuem em estratos cujos acamamentos são praticamente horizontais. Mudanças bruscas na litologia e coloração foram verificadas sugerindo em alguns casos, falhamentos de gravidade. São de coloração avermelhada, granulação variável, com ocorrências locais de níveis de seixos arredondados à sub-arredondados e estratos argilosos intercalados.

De acordo com os perfis dos poços, a espessura destes sedimentos varia de 60m a 116m. A parte superior dos perfis até a profundidade média de 30m, exhibe em geral sedimentos mais argilosos. São arenitos argilosos, argilas arenosas, siltitos, argilas e intercalações de arenitos de granulação fina a média. São, portanto, sedimentos heterogêneos que se mostram estratificados ou com grande variação de fácies tanto vertical como lateralmente. A parte inferior dos perfis é formada predominantemente de arenitos de granulação fina a grossa, com intercalações argilosas. Os arenitos da porção inferior são de coloração predominantemente clara (creme a amarelada) contrastando com a porção mais argilosa superior, geralmente avermelhada. Os sedimentos da Formação Guararapes estão sotopostos em geral a depósitos recentes de dunas, aluviões

e mangues. Estão sobrepostos a depósitos carbonáticos da Formação Jandaira do Cretáceo.

- Grupo Barreiras: Formação Macaiba

A ocorrência desta formação restringe-se a pequenas exposições na Praia de Ponta Negra (limite exterior da área estudada) e na Ponta do Mocego (praia de Barreira d'Água). É composta de areias caolínicas de coloração esbranquiçada. Apresenta contatos gradacionais e bruscos em relação a Formação Guararapes (Nazaré Jr, 1993).

- Dunas

As dunas recobrem a maior parte da área estudada, inclusive a área urbanizada de Natal, repousando sobre o Grupo Barreiras. São em geral formadas de areias finas e menos frequentemente areias médias, quartzosas, homogêneas, de boa seleção e em alguns casos com percentual argiloso. Foram classificados dois tipos principais de dunas diferenciadas quanto a situação topográfica, idade relativa, litologia e coloração. São as dunas mais antigas (retrabalhadas) e as dunas mais recentes ou atuais.

As dunas mais antigas estão situadas em geral nas superfícies de cotas inferiores a 50m. Compreendem as dunas da zona urbanizada de Natal e aquelas dos níveis mais baixos entre elevações ou entre cordões dunares do setor sul da área. São formadas de areias com percentual argiloso, que se acham misturadas com colúvios e produtos do retrabalhamento do Barreiras. São de coloração avermelhada, podendo apresentar as tonalidades cinza a amarela. Esta unidade, aqui definida, corresponde às "dunas primitivas" e níveis mais baixos das "dunas mais antigas" propostos por Costa (1970).

As dunas mais recentes ou atuais correspondem aos corpos dunares situados em geral nos níveis topográficos superiores a 50m. Tratam-se de depósitos de areia mais recente que aqueles das superfícies aplainadas ou rebaixadas. É o caso das dunas que se desenvolvem ao longo da costa, na direção norte-sul, formando o conhecido Parque das Dunas. Estas dunas são, em sua maior parte, fixas por uma exuberante vegetação; entretanto, as suas vertentes mais suaves, do setor oriental, estão afetadas por fenômenos de deflação, o que lhes atribui uma faixa de dunas vivas de coloração esbranquiçada identificadas como dunas atuais (Fig. 2.4).

Estão incluídas na categoria de dunas recentes, também, as dunas elevadas do setor sul e sudoeste da área, que compreende inclusive o "San Vale". As dunas deste setor, em muitos casos, mostram-se preservadas, mantendo a forma original. Ocorrem numa faixa de cerca de 3km de largura orientadas na direção NW-SE. Ocorrem, ainda, as dunas da planície de deflação situada no extremo norte da área, identificadas como dunas atuais (Fig. 2.4).

- Aluviões

Estes depósitos são encontrados, principalmente, ao longo do rio Potengi e à sua margem direita, estando em maior proporção nas proximidades de sua desembocadura, onde se forma uma planície de inundação. Ocorrem, também, formando os terraços aluviais. A litologia e a granulometria nos terraços e planícies, em geral, variam bastante. São encontrados tanto sedimentos arenosos como lamosos. Estes últimos, constituindo os manguezais. Os terraços exibem composição arenosa, que vão de areias finas à cascalhos. Ao longo do rio Pitimbu ocorrem também depósitos aluviais, porém, de dimensões menos expressivas, formados de sedimentos areno-argilosos.

3. O SISTEMA HÍDRICO SUBTERRÂNEO

O primeiro estudo sistemático sobre a hidrogeologia da área de Natal foi realizado pela Consultoria Técnica de Geologia e Engenharia (CONTEGE, 1970), cobrindo uma área de 220 Km². Este estudo envolveu o cadastramento de poços, realização de testes de aquífero e um primeiro balanço hídrico da área.

A Consultoria de Recursos Naturais (PLANAT, 1983), executou trabalho de avaliação dos recursos hídricos subterrâneo na cidade de Natal baseado em estudos já existentes e na análise de resultados de ensaios de bombeamento executados pela CAERN. As potencialidades dos aquíferos Dunas e Barreiras foram reavaliados numa área de 114 Km².

Merece destaque, também, o estudo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1982), que apesar de ser voltado principalmente para a qualidade das águas, apresenta um mapa potenciométrico da área da grande Natal, onde se pode verificar que a evolução dos cones regionais de rebaixamento, devido aos bombeamentos, é muito pouco significativo em relação ao obtido em 1970 (CONTEGE).

O trabalho mais recente sobre a hidrogeologia de Natal foi realizado pela empresa Estudos, Projetos e Consultoria (ACQUA-PLAN, 1988), que mostra que os aquíferos Dunas e Barreiras apresentam uma forte conexão do ponto de vista hidráulico subterrâneo.

Todo esses trabalhos admitem a existência de duas unidades aquíferas, uma superior do tipo livre, formada de sedimentos dunares, com baixo potencial hidrogeológico e uma inferior, semi-confinada formada pelos arenitos inferiores do Grupo Barreiras, separados por uma camada areno-argilosa com características de aquitard e que corresponde aos sedimentos superiores do Barreiras.

Vários outros estudos hidrogeológicos foram desenvolvidos na área de Natal, porém, de caráter muito local ou voltados fundamentalmente para a avaliação da

produtividade de poços das captações do Sistema Público de Abastecimento d'Água administrado pela CAERN.

Tendo em vista a caracterização hidrogeológica da área no sentido de melhor conhecer o funcionamento hidráulico dos sistemas, foram desenvolvidas as seguintes atividades básicas, no âmbito deste trabalho.

- Cadastramento de 323 pontos d'água no período de dezembro de 1982 a fevereiro de 1993, que incluiu cacimbões, poços tubulares (rasos e profundos), fontes e lagoas, com medição de parâmetros construtivos dos poços e profundidade do nível d'água dos mesmos;
- execução de seis sondagens utilizando trados manuais e instalação de quatro piezômetros, como ações complementares no conhecimento das cargas hidráulicas e suas variações potenciais;
- Ensaio de infiltração no meio poroso insaturado em quatro sondagens;
- Monitoramento dos níveis potenciométricos de quatro poços tubulares no período de outubro de 1993 a outubro de 1994;
- elaboração de seções hidrogeológicas;
- Estabelecimento do modelo hidrogeológico conceitual.

3.1 - O Modelo Hidrogeológico Conceitual

3.1.1 - Componentes do sistema hidrogeológico e parâmetros hidráulicos

Os estratos geológicos que formam o sistema hídrico subterrâneo da área de Natal são as formações dunares, os sedimentos superiores e inferiores do Grupo Barreiras (Formação Guararapes). Convém citar ainda, como fazendo parte do sistema, os poços de captação d'água, as fontes, as lagoas e os cursos d'água superficiais.

- Parâmetros hidráulicos das dunas

As dunas apresentam espessuras muito variadas e condicionadas ao relevo local. A Tab. 3.1 apresenta as variações de espessura das dunas nos poços de captação do Sistema Público de Abastecimento d'Água, na qual se pode observar uma espessura mínima de 3,0m na captação Lagoa Nova II e máxima de 51,0m (também na mesma captação). A espessura média obtida para o conjunto das captações foi de 20,0m. Na Fig. 3.1 pode ser observado os locais dessas captações.

Tab. 3.1 - Variação de espessura das dunas nos poços de captação do Sistema Público de Abastecimento d'Água.

Melo (1995)

CAPTAÇÃO	QUANTIDADE DE POÇOS	VARIAÇÃO DA ESPESSURA (m)	ESPESSURA MÉDIA (m)
Lagoa Nova I	11	06 a 22	15
Lagoa Nova II	09	03 a 51	24
Dunas	15	06 a 30	19
Novo Campo	17	05 a 43	23
Ponta Negra	04	17 a 28	21
Cidade Satélite	06	06 a 32	20
Felipe Camarão	08	17 a 26	21
Pirangi	04	13 a 20	17
MÉDIA GERAL			20

A espessura saturada das dunas varia em função das variações sazonais do nível das águas subterrâneas. No período seco as dunas permanecem insaturadas em quase toda área e na época das chuvas, mediante alimentação do sistema hídrico subterrâneo, o nível das águas subterrâneas sobe penetrando nos estratos dunares, porém, em zonas restritas de relevo mais baixo. Na parte sul da área, que envolve as lagoas de Pirangi, Alagoinha e Ponta Negra foram verificadas espessuras saturadas da ordem de 3,0m mesmo no período seco (abril de 1993). Isto ocorre porque a estrutura hidrogeológica local, conforme será visto adiante, condiciona a formação de aquíferos suspensos.

Fig. 3.1. Captações do Sistema Público de Abastecimento d'Água de Natal (abril 1994).

Foram realizados testes em campo para avaliação da permeabilidade das dunas em quatro distintas localidades (Tab. 3.2). Os ensaios foram executados em sondagens acima do nível d'água pelo método de rebaixamento sem revestimento nas perfurações segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1990). Tratam-se de ensaios de infiltração ou ensaios pontuais correntemente utilizados em geologia de engenharia em diversas finalidades da construção civil e que nos últimos anos têm sido adotados no campo da hidrogeologia.

Tab. 3.2 - Resultado dos ensaios de permeabilidade nas dunas pelo método de rebaixamento acima do nível d'água.

Melo (1995)

SONDAGEM	LOCAL	NÍVEL TESTADO (m)	dh (m)	dt (seg)	r (m)	h (m)	K (m/s)
S1	Lagoa de Pitimbu	0,00-2,90	0,81	1200	0,61	2,90	$1,5 \times 10^{-4}$
S2	Campus Universitário	0,00-14,23	7,80	1200	0,61	14,23	$2,2 \times 10^{-4}$
S3	Lagoa dos Potiguares	0,00-14,66	10,48	1200	0,61	14,66	$2,8 \times 10^{-4}$
S4	Bosque dos Namorados	0,00-23,83	18,30	1200	0,61	23,83	$2,3 \times 10^{-4}$

Os ensaios realizados são de nível variável e de acordo com o procedimento metodológico adotado foram descarregadas águas nas sondagens até estabilização do nível d'água na boca dos furos por um período de cerca de 10 minutos (considerado suficiente para saturação do terreno). Após o que, foram efetuadas as medidas dos abaixamentos do nível das águas por um tempo de cerca de 30 minutos em cada um dos casos. O equipamento utilizado constou de mangueiras conectadas à dois reservatórios com capacidade de 1000 litros cada um deles; um cronômetro e uma régua plástica graduada.

A avaliação da permeabilidade foi feita pela equação:

$$K = \frac{dh}{dt} (r/R)^2, \quad \text{onde:} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

K = permeabilidade (m/s),

dt = variação de tempo a partir do instante t_0 (seg),

dh = variação de carga (m),

h = carga hidráulica (m),

r = raio da sondagem,

sendo $R^2 + R - h = 0$ (Eq. 3.2)

A Fig. 3.2 ilustra os componentes desta equação e a Tab. 3.2 apresenta o resumo dos ensaios e permeabilidades obtidas.

$$K = \frac{dh}{dt} \left(\frac{r}{R} \right)^2, \text{ onde}$$

$$R^2 + R - h = 0$$

Fig. 3.2. Ensaio de permeabilidade em sondagens acima do nível d'água - Método de rebaixamento sem revestimento na perfuração (ABGE, 1990)

A permeabilidade das dunas nos locais testados (pelos ensaios pontuais) varia numa estreita faixa de $1,5 \times 10^{-4}$ a $2,8 \times 10^{-4}$ m/s, com média geral de $2,2 \times 10^{-4}$ m/s.

A permeabilidade das dunas foi avaliada em estudos anteriores com o meio poroso saturado ou seja, abaixo do nível d'água, mediante a realização de ensaios de bombeamento de poço com dispositivo de poço de observação. De acordo com este

procedimento, segundo ACQUA-PLAN (1978), a permeabilidade das dunas na área do Campo do Preá (em torno da Lagoa de mesmo nome), é de $2,0 \times 10^{-4}$ m/s e no Centro Administrativo (local da captação Lagoa Nova I), a ACQUA-PLAN (1988), obteve uma média de $3,1 \times 10^{-4}$ m/s. Esses resultados confirmam o caráter de homogeneidade das dunas.

No caso da porosidade específica, a ACQUA-PLAN (1978), obteve uma taxa de 10%.

- Parâmetros hidráulicos do Barreiras

Os estratos arenosos inferiores do Grupo Barreiras constituem o denominado aquífero Barreiras. Este é formado de arenitos de textura variada, ocorrendo níveis finos a grosseiros, às vezes com cascalho. São frequentes as intercalações argilosas que limitam a sua espessura útil, e, aumentam a complexidade do sistema hidrogeológico.

O aquífero Barreiras acha-se limitado na parte superior por sedimentos heterogêneos, formados predominantemente de argilas arenosas e arenitos argilosos. Há uma freqüente mudança lateral de fácies e não raro ocorrem passagens bruscas de argilas para arenitos pouco ou não argilosos, o que facilita a conexão hidráulica entre as camadas inferiores e as superiores. Esta seqüência tem sido caracterizada nos estudos anteriores como uma camada semi-confinante ou "aquitard", cuja espessura é da ordem de 23m (de acordo com a análise dos perfis litológicos dos poços). Na parte inferior, o aquífero Barreiras está limitado por arenitos carbonáticos, duros, com função ainda não bem definida.

Os parâmetros hidráulicos do Barreiras (Tab. 3.3) são apresentados com base nos resultados da análise dos Relatórios Técnicos das captações por poços que compõem o Sistema Público de Abastecimento d'Água, elaborados pela divisão de

Hidrogeologia da CAERN, no período de 1977 a 1994, e, nos estudos desenvolvidos pela ACQUA-PLAN (1988).

Tab. 3.3 - Parâmetros hidráulicos do Barreiras, segundo Relatórios Técnicos das captações da CAERN (1978-1994)

Melo (1995)

CAPTAÇÃO	ESPESSURA MÉDIA (m)	NÚMERO DE POÇOS TESTADOS	PERMEABILIDADE (m/s)	TRANSMISSIVIDADE MÉDIA (m ² /s)
Dunas	54	15	$2,63 \times 10^{-4}$	$1,42 \times 10^{-2}$
Lagoa Nova I	45	06	$2,96 \times 10^{-4}$	$1,33 \times 10^{-2}$
Lagoa Nova II	48	09	$3,74 \times 10^{-4}$	$1,79 \times 10^{-2}$
Novo Campo	50	14	$3,00 \times 10^{-4}$	$1,50 \times 10^{-2}$
Ponta Negra	52	07	$2,46 \times 10^{-4}$	$1,28 \times 10^{-2}$
Pirangi	39	08	$3,00 \times 10^{-4}$	$1,17 \times 10^{-2}$
Cidade Satélite	40	07	$3,10 \times 10^{-4}$	$1,24 \times 10^{-2}$
Felipe Camarão	40	11	$2,60 \times 10^{-4}$	$1,04 \times 10^{-2}$
Candelária	42	03	$3,50 \times 10^{-4}$	$1,47 \times 10^{-2}$
Guarapes	36	01	$6,70 \times 10^{-5}$	$2,41 \times 10^{-3}$

A espessura saturada do aquífero Barreiras, de acordo com a análise dos perfis de poços das captações, varia de 36m (captação Guarapes) a 54m (captação Dunas). Nestas avaliações foram, em geral, consideradas apenas os estratos arenosos pouco ou não argilosos.

Foram reavaliados, com modificações, os parâmetros hidrodinâmicos obtidos da interpretação de resultados de 82 ensaios de bombeamento, incluindo tanto resultados de teste de aquífero com dispositivo de poço de observação, como resultados de testes de produção com dados do próprio poço bombeado. De acordo com esta análise, a permeabilidade do aquífero Barreiras, nas captações, varia, em média, de $6,7 \times 10^{-5}$ m/s (captação Guarapes) a $3,74 \times 10^{-4}$ m/s (captação Lagoa Nova II). O menor valor de transmissividade foi obtido em Guarapes, com $2,41 \times 10^{-3}$ m²/s, enquanto nas demais captações os coeficientes de transmissividade são de mesma ordem de grandeza variando de $1,04 \times 10^{-2}$ a $1,79 \times 10^{-2}$ m²/s.

Com relação ao coeficiente de armazenamento do aquífero Barreiras, os valores obtidos pela ACQUA-PLAN (1988) e PLANAT (1982), indicam uma gama de variação bastante ampla com registros que vão de $1,4 \times 10^{-4}$ a $1,6 \times 10^{-3}$. Os resultados sugerem que, em alguns casos, o aquífero comporta-se como livre.

A permeabilidade vertical da camada semi-confinante, de acordo com ACQUA-PLAN (1988), é da ordem de $1,6 \times 10^{-6}$ m/s e considerando a espessura de 23m, obtém-se uma transmissividade de $1,6 \times 10^{-6} \times 23 = 3,68 \times 10^{-5}$ m²/s.

3.1.2 - Relação de potencial hidráulico

A análise das variações das cargas hidráulicas nos poços, bem como o caráter lito-estrutural dos estratos sedimentares, sugerem que as formações dunares e os sedimentos Barreiras formam no conjunto um sistema hidráulico único, muito complexo e indiferenciado, o que será designado de Sistema Aquífero Dunas/Barreiras. Este, em geral, comporta-se como livre, entretanto, localmente pode apresentar semi-confinamentos. As dunas exercem a função de uma unidade de transferência das águas de infiltração em direção aos estratos arenosos do Barreiras. Estas conclusões são fundamentadas nas considerações a seguir:

1) As cargas hidráulicas dos poços rasos e profundos se ajustam a uma mesma superfície potenciométrica (Fig. 3.3 e Fig. 3.4), com exceção de setores restritos à sudeste da área, onde a estrutura hidrogeológica condiciona a formação de aquíferos suspensos.

2) Na fase inicial de ocorrência de chuvas, as cargas hidráulicas tendem a ser mais elevadas nos poços rasos em relação aos poços profundos, porém à medida que as chuvas se intensificam os valores aumentam até uma condição de igualdade (Tab. 3.4).

Fig. 3.3-Secção hidrogeológica 1

SITUAÇÃO DOS POÇOS E SONDAGENS UTILIZADOS

LEGENDA

	AREIA FINA	S- SONDAÇÃO
	AREIA ARGILOSA	PZ- PIEZÔMETRO
	ARGILA ARENOSA E SÍLTICA	P- POÇO TUBULAR (CAERN)
	ARENITO	C- CACIMBÃO
	ARENITO CALCÍFERO	PP- POÇO PARTICULAR
	CONTATO DUNAS / BARREIRAS	
	NÍVEL POTENCIOMÉTRICO DO SISTEMA AQUIFERO	
	NÍVEL POTENCIOMÉTRICO E O SEU VALOR	

ESC. HORIZONTAL
0 800m

Melo (1995).

Fig.3.4-Secção hidrogeológica 2

LEGENDA

	AREIA FINA	P- POÇO TUBULAR (CAERN)
	AREIA ARGILOSA	PZ PIEZÔMETRO
	ARGILA E ARGILA ARENOSA	
	ARENITO	
	ARENITO CALCÍFERO	
	CONTATO DUNAS (D) - BARREIRAS (B)	
	NÍVEL POTENCIOMÉTRICO DO SISTEMA AQUIFERO	
	NÍVEL POTENCIOMÉTRICO E O SEU VALOR (m)	
	LAGOA COM LANÇAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	
	LAGOA SECA	

SITUAÇÃO DAS LAGOAS, POÇOS E PIEZÔMETROS UTILIZADOS

Melo (1995)

Tab. 3.4 - Cargas hidráulicas de poços rasos e profundos na área da captação Lagoa Nova I (acqua-plan, 1988)

Melo (1995)

PONTO D'ÁGUA	PROFUNDIDADE (m)	04.03.88			08.04.88			26.05.88		
		NE (m)	h (m)	h (m)	NE (m)	h (m)	h (m)	NE (m)	h (m)	h (m)
PT-5A	16	5,12	28,34	0,06	4,02	29,44	1,15	-	-	-
PT-5A	83	5,18	28,28		5,17	28,29		4,84	28,29	
PZ-5A	15	5,26	27,95	0,05	4,03	29,05	0,74	3,49	29,59	0,14
PZ-5B	57	5,31	27,90		4,77	28,31		3,63	29,45	
PZ-10A	16	5,55	27,15	0,03	4,66	28,04	0,49	3,90	28,80	0,05
PZ-10B	43	5,58	27,12		5,15	27,55		3,95	28,75	

* Início do período chuvoso

NE - nível estático

h - altura potenciométrica

Δh - variação de carga entre pares de poços

3) Um teste de aquífero realizado pela ACQUA-PLAN (1988), na área da captação Lagoa Nova I (Centro Administrativo), mostrou que durante o bombeamento de um poço profundo (62m), devidamente cimentado, houve reação no nível d'água de um piezômetro raso (15m) distanciado de 15m, o que mostra a conexão hidráulica entre os dois níveis.

De acordo com os resultados do monitoramento dos níveis potenciométricos de quatro poços, no período de outubro/1993 a outubro 1994, o comportamento das variações dos níveis d'água nestas unidades com a ocorrência das chuvas é característico de sistemas livres (Fig. 3.5), ou seja, as reações se processam de forma bastante rápida. Observa-se também que os poços situados nos setores mais densamente povoados (caso do P-1-R₄), a recarga se processa mais lentamente com relação aos poços de setores ainda não ocupados extensivamente (poço P₁, captação Pirangi).

As lagoas existentes no interior da área constituem um componente do sistema hidráulico que desempenha um papel importante no contexto hidrogeológico. Ocorrem em depressão circulares, em pontos de cotas inferiores a 30m. Em condições naturais são de regime intermitente e a ocorrência de água está condicionada principalmente à elevação do nível das águas subterrâneas. As lagoas da Candelária,

do Preá, dos Potiguares e São Conrado recebem águas pluviais e esgotos clandestinos, estando com os fundos impermeabilizados, razão pela qual estão sempre com água na época de estiagem, porém sem comunicação direta com as águas subterrâneas, conforme pode ser observado na Fig. 3.4. O nível da água subterrânea neste caso situa-se a mais de 12m de profundidade com relação ao fundo das lagoas.

Fig.3.5-Variação sazonal do nível d'água em poços tubulares.
Melo (1995)

As lagoas do setor Jiqui-Pirangi e Lagoinha, em geral, não recebem líquidos efluentes e mantêm a perenidade de suas águas, com exceção dos anos de forte estiagem. Isto ocorre devido a estrutura hidrogeológica local que propicia a formação de aquíferos suspensos que dificultam a drenagem das águas das lagoas para os níveis aquíferos inferiores (Fig. 3.6). As lagoas deste setor constituem, portanto, fontes de recarga para o sistema aquífero Dunas/Barreiras.

Fig.3.6-Formação de aquífero suspenso na área Jiqui Pirangi (fev. 93)

3.1.3 - Fluxo subterrâneo

Visando conhecer as características do movimento das águas subterrâneas, foi elaborado o mapa potenciométrico do sistema aquífero Dunas/Barreiras (Fig. 3.7).

Fig. 3.7-Potenciometria do Sistema Aquífero
Dunas/Barreiras (fev. 1993)

- GEOLÓGICA
- ALUVIÕES E MANGUES
 - DUNAS MAIS RECENTES E ATUAIS
 - DUNAS MAIS ANTIGAS E RETRABALHADAS
 - SEDIMENTOS BARREIRAS

- HIDROGEOLOGIA
- ID— CURVA ISO-POTENCIOMÉTRICA E SEU VALOR
 - ← LINHA DE FLUXO SUBTERRÂNEO
 - EIXO DE DRENAGEM
 - DIVISOR DE ÁGUAS SUBTERRÂNEA
 - POÇO OBSERVADO

A configuração das equipotências indica a existência de uma zona elevada da superfície das águas subterrâneas com fluxo divergente, no setor sudoeste da área, que corresponde a zona principal de recarga do sistema aquífero por infiltração das águas de chuva. As águas seguem o seu curso nos estratos sedimentares segundo três frentes principais de escoamento em setores de diferentes características hidrogeológicas, conforme descrição a seguir:

A frente costeira, no setor oriental, com descargas para o mar, cujas águas escoam com gradientes da ordem de 0,66%. A frente Potengi, no setor ocidental, no qual os escoamentos são em direção ao rio Potengi com gradientes hidráulicos da ordem de 1,2% em média. A frente Pitimbu, no setor sul, com fluxo em direção ao rio Pitimbu com gradiente médio de 0,66%. A vazão do fluxo subterrâneo em cada um desses setores foi avaliada a partir da lei de DARCY pela equação:

$$Q = KEIL, \quad \text{onde:} \quad (\text{Eq. 3.3})$$

I = Gradiente hidráulico (%)

K = Permeabilidade (m/s)

Q = descarga do fluxo subterrâneo (m³/s ou m³/ano)

L = Largura da frente de escoamento (m).

E = Potência do sistema aquífero (m)

A Tab. 3.5 apresenta os valores desses componentes em cada um dos setores assinalados e os resultados das avaliações.

Tab. 3.5- Descarga do fluxo subterrâneo

Melo (1995)

SETOR	K (m/s)	E (m)	I (%)	L (km)	Q (m ³ /ano)
Oriental (Frente Costeira)	2,9x10 ⁻⁴	50	0,66	12	34,4x10 ⁶
Ocidental (Frente Potengi)	8,50x10 ⁻⁵	36	1,20	11	12,1x10 ⁶
Sul (Frente Pitimbú)	3,05x10 ⁻⁴	39	0,66	10	23,5x10 ⁶
Total do Fluxo Subterrâneo					70,0x10 ⁶

No setor oriental, para efeito de avaliação da descarga do fluxo subterrâneo, foi adotado a média dos parâmetros hidráulicos (potência e permeabilidade) obtidos para as captações Dunas, Lagoa Nova I, Lagoa Nova II, Novo Campo e Ponta Negra, que resultou em $34,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ segundo uma frente de escoamento de 12km.

No setor sul, tomou-se como base na avaliação a média dos valores dos parâmetros das captações Pirangi e Cidade Satélite. A descarga do fluxo subterrâneo segundo uma frente de escoamento de 10 Km em direção ao rio Pitimbu, é da ordem de $23,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

No caso do setor ocidental, foi adotada a média dos valores dos parâmetros de captação Guarapes e dos poços P10 e P12 da captação Felipe camarão. Os perfis desses poços apresentam espessuras saturadas de 35 e 32m, respectivamente e a permeabilidade é da ordem de $0,94 \times 10^{-4} \text{ m/s}$. Segundo esta consideração, foi obtido uma descarga de $12,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ para uma frente de escoamento de 11km.

A descarga total do fluxo subterrâneo natural é, portanto de $70 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

O mapa potenciométrico mostra outras feições importantes da superfície das águas subterrâneas. No setor sul da área, nas localidades Jiqui-Pirangi e Lagoinha, há um grande afastamento entre os equipotenciais e por conseguinte, uma forte redução nos gradientes hidráulicos que mudam de 0,4% para 0,08%. Isto ocorre devido a estrutura hidrogeológica local que condiciona a formação de aquíferos suspensos e lagoas, criando desta feita zonas importantes de alimentação do fluxo regional (Fig. 3.6 e Fig. 3.7).

Observam-se três linhas de drenagem associadas aos drenos superficiais dos riachos das Lavadeiras, do Baldo e da Prata.

As curvas potenciométricas da Fig. 3.7 foram obtidas com base em dados de profundidade do nível d'água dos poços nas condições de equilíbrio ou seja, os bombeamentos do poço a ser observado e poços mais próximos foram interrompidos e as medições efetuadas após recuperação das suas respectivas cargas hidráulicas. No

domínio das áreas de algumas captações d'água do sistema público, as curvas potenciométricas exibem inflexões, o que pode estar refletindo ainda a influência dos bombeamentos dos poços, situados mais distantes do ponto observado.

A Fig. 3.8 apresenta a potenciometria do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras na área que envolve as captações Lagoa Nova I, Lagoa Nova II e parte da captação Dunas, para a condição encontrada ou seja sem interferir nos

Fig. 3.8 - Potenciometria do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras envolvendo as Captações Lagoa Nova I, Lagoa Nova II e parte da Captação Dunas (Março 1994).

Melo(1998)

- 10 — Curva potenciométrica e seu valor
- - - Curva potenciométrica inferida
- P 1A
5,25 Poço tubular n° de ordem
carga potenciométrica

bombeamentos que estavam sendo produzidos (março de 1994). Observam-se depressões na superfície potenciométrica nas zonas em torno das captações. Os cones de rebaixamento produzidos pelos bombeamentos nas baterias de poços modificam as condições naturais do escoamento, porém a tendência geral do fluxo subterrâneo permanece no sentido oeste-leste ou seja, em direção ao mar.

3.1.4 - Profundidade do nível das águas subterrâneas

Utilizando os resultados das medições dos níveis estáticos dos poços, base plani-altimétrica, e auxiliado pelo mapa potenciométrico do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras foi elaborado o mapa de curvas de igual profundidade do nível das águas subterrâneas (Fig. 3.9), para uma condição de estiagem (fevereiro de 1993).

A profundidade do nível das águas subterrâneas está condicionada ao caráter geomorfológico e estrutura geológica. Em geral, entretanto, as maiores profundidades correspondem às zonas de relevo mais elevado, onde os níveis d'água situam-se a profundidades superiores a 40,0m, enquanto que nas zonas mais baixas, o nível d'água geralmente é mais raso, com profundidades em alguns casos, inferiores a 5,0m. Isto, é o que se verifica nos setores de ocorrência das lagoas situadas ao sul da área de estudo. Na margem do rio Potengi, as águas subterrâneas afloram sob a forma de fontes.

Na parte central da cidade de Natal, numa expressiva faixa do Bairro de Lagoa Nova (ao longo de um divisor de águas subterrâneas), o nível das águas subterrâneas ocorre a profundidades entre 10,0m à 15,0m. A partir desta zona para leste, a profundidade do nível das águas aumenta atingindo 30,0m próximo ao sopé das elevações dunares do Parque das Dunas.

Fig. 3.9 - Curvas de iso-profundidade do nível das águas subterrâneas (Fevereiro 1993)

Na época das chuvas, de acordo com ACQUA-PLAN (1988), há uma elevação da superfície das águas subterrâneas para profundidades da ordem de 3,0 a 6,0m na zona central referida, e, cerca de 24,0m próximo ao Parque das Dunas.

3.2 - Condições de Exploração

As águas subterrâneas de Natal são exploradas principalmente através de poços tubulares profundos e, secundariamente por captações rasas do tipo cacimbão.

Foram cadastrados 195 cacimbões (anexo 9.1), construídos em alvenaria de tijolo com diâmetro que variam de 0,6 a 2,5m e profundidades de 0,5 a 40,0m, havendo um caso de um cacimbão com profundidade de 75,0m (cacimbão nº 202 em Nova Cidade). A captação d'água é feita em geral manualmente, com o uso de baldes auxiliados com corda e sarilho. Em alguns casos, são utilizadas bombas centrífugas. O volume d'água anualmente explorado por essas unidades é pouco expressivo e, de acordo com os resultados do cadastramento, não excede 30.000m³. Com relação aos poços tubulares foram cadastrados 126 unidades dos quais estão incluídos 74 poços do Sistema Público de Abastecimento d'Água da cidade de Natal e 26 poços particulares.

Os poços do Sistema Público de Abastecimento d'água estão agrupados por unidades de captação conforme mostra a Fig. 3.1 e Tab. 3.1. A profundidade desses poços varia de 62,0m (Poço P-10A da captação Lagoa Nova I) a 148,0m (Poço P-14, da captação Lagoa Nova II) e capacidade de produção de 20m³/h (Poço P-10A da captação Felipe Camarão - Cidade Nova) a 150m³/h (Poço P-8A, captação Lagoa Nova I). São perfurados em diâmetro de 12 e 14 polegadas, revestidos com tubos de 8 polegadas, e, com filtros de 6 e 8 polegadas. Estes, em geral, são de aço inoxidável, com alguns casos de filtros de ferro galvanizado. Apresentam pré-filtro e, em sua maioria, são protegidos sanitariamente por uma coluna de cimento cuja extensão varia de 5,0 a 40,0m, situada acima do encascalhamento artificial. Os poços que não apresentam nenhuma proteção sanitária são os poços P12, P13 e P14 da captação Lagoa

Nova I; poços P01 e P11 da captação Lagoa Nova II e o poço P1 da captação Cidade da Esperança. As figuras do anexo 9.2 permitem uma visão global de cada um dos poços das captações quanto ao caráter construtivo.

Os poços do Sistema Público de Abastecimento operam em regime 24/24h e o volume explotado anualmente é da ordem de 47.456.511 m³, sendo que cerca de 60% deste volume é bombeado pelo conjunto das captações Novo Campo, Dunas, Lagoa Nova I e Lagoa Nova II. A Tab. 3.6 apresenta o número de poços que compõem cada captação e as respectivas taxas de bombeamento.

Tab. 3.6 - Captações do Sistema Público de Abastecimento e volumes d'água explotados

Melo (1995)

CAPTAÇÃO	NÚMERO DE POÇOS EM OPERAÇÃO	VOLUMES D'ÁGUA EXPLOTADO		
		m ³ /HORA	m ³ /DIA	m ³ /ANO
Lagoa Nova I	07	804,53	19.308,72	7.047.682,80
Lagoa Nova II	07	656,46	15.755,04	5.750.589,60
Novo Campo	14	954,40	22.905,60	8.360.544,00
Dunas	12	833,12	19.994,88	7.298.131,20
Cidade Satélite	07	325,84	7.820,16	2.854.358,40
Felipe Camarão/ Cidade Nova	15	432,98	10.391,52	3.792.904,80
Ponta Negra	08	431,38	10.353,12	3.778.888,80
Pirangi	09	469,34	11.264,16	4.111.418,40
Candelária	03	206,43	4.954,32	1.808.326,80
Cidade da Esperança	02	111,35	2.672,40	975.426,00
Jiquí	01	31,82	763,68	278.743,20
Dix-Sept Rosado	01	38,19	916,56	334.544,40
R-5 (Dist. Litoral)	01	121,57	2.917,68	1.064.953,20
TOTAIS	87	5.417,41	130.017,84	47.456.511,00

* Dados fornecidos pelo Distrito Metropolitano da CAERN em 07.04.94

Quanto aos poços particulares, foram cadastrados apenas 26 unidades. Não há nenhum órgão que discipline a construção desses poços e na maioria dos casos apresentam problemas construtivos. O volume anual explotado por todos os poços particulares (incluindo os não cadastrados) estima-se que é da ordem de 5 x 10⁶ m³.

3.3 - Potencialidades do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras

O sistema aquífero Dunas/Barreiras, em geral, comporta-se como um sistema do tipo livre e o seu nível potenciométrico flutua com as variações sazonais. Assim sendo, suas potencialidades estão condicionadas à infiltração direta das águas de chuva nas dunas cujo volume efetivamente infiltrado restitui as reservas de águas subterrâneas que se perdem nos escoamentos naturais e exploração por poços e, também, alimentam o fluxo subterrâneo. Por definição, em condições de equilíbrio, sem considerar a exploração dos poços, as reservas reguladoras, situadas entre os níveis potenciométricos máximos e mínimos de acordo com as variações sazonais, são equivalentes à infiltração eficaz e à vazão do fluxo subterrâneo anual.

A avaliação direta das reservas reguladoras não foi possível ser feita porque não se conhece a porosidade específica dos estratos afetados pelas flutuações das águas, como também, é difícil de ser estimada dado a complexidade dos estratos superiores do Barreiras. A vazão do fluxo subterrâneo foi avaliada em $70 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (seção 3.1.3), de forma que as reservas reguladoras e a infiltração eficaz, mantidas as simplificações de equilíbrio apresentadas são teoricamente equivalentes a este volume.

A porosidade específica dos estratos sujeitos às flutuações sazonais dos níveis d'água, desta feita, já pode ser estimada pela equação:

$$\mu = \frac{Q}{AdH}, \quad \text{onde:} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

μ = porosidade específica (adimensional)

Q = vazão do fluxo subterrâneo ($70 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$)

A = área em consideração (90 Km^2)

dH = variação de carga entre os níveis máximos e mínimos (7,5m).

Aplicando, resulta uma porosidade específica de 10%. Este valor está perfeitamente coerente com os resultados obtidos pela ACQUA-PLAN (1978), para as dunas inferiores (as mais antigas), nas imediações da Lagoa do Preá.

Sobre a área em apreço precipita-se uma lâmina d'água de 1600mm/anuais, de forma que o volume precipitado é da ordem de $144 \times 10^6 \text{ m}^3$. Considerando que a infiltração eficaz é de $70 \times 10^6 \text{ m}^3$, a taxa de infiltração é, portanto, aproximadamente de 48%. As águas subterrâneas situadas abaixo do nível d'água mínimo constituem as reservas permanentes do sistema, que pode ser avaliada pela equação:

$$RP = A.E_m.\mu, \quad \text{onde:} \quad (\text{Eq. 3.5})$$

RP = reservas permanentes(m^3)

A = área (90 Km^2)

E_m = espessura saturada mínima do aquífero (37,0m)

μ = porosidade específica (10%).

Como pode ser notado, admitiu-se para o sistema aquífero Dunas/Barreiras uma porosidade específica de 10% equivalente ao valor obtido para os níveis superiores do Barreiras, ou equivalente à faixa de flutuação sazonal dos níveis d'água que também inclui a parte inferior dos estratos dunares. Assim sendo, pela aplicação da equação anterior resulta que as reservas permanentes são da ordem de $330 \times 10^6 \text{ m}^3$. As reservas explotáveis serão tomadas como equivalentes às reservas reguladoras ou à vazão do fluxo subterrâneo natural. Portanto, as reservas explotáveis do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras são de uma ordem de grandeza de $70 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Considerando o volume explotado por poços, da ordem de $52 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, conclui-se que, nas condições atuais, há uma disponibilidade média anual de água de $18 \times 10^6 \text{ m}^3$, permanecendo as reservas permanentes intocáveis (Fig. 3.10).

A elevada potencialidade do sistema é atribuída à alta capacidade de infiltração das dunas, que transferem toda água infiltrada para os estratos sedimentares arenosos do Barreiras, garantindo assim a restituição das perdas por exploração e alimentando o fluxo subterrâneo.

Fig. 3.10-Representação esquemática do funcionamento hidráulico do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras

- P Precipitação
 Ie Infiltração eficaz
 RP Reserva permanente
 Q Vazão exploração (poços)
 ---> Fluxo em direção ao poço
 —> Fluxo natural
 [Hatched Box] Faixa compreendida entre o nível potenciométrico máximo e mínimo (reserva reguladora)

- [Dotted Box] Dunas
 [White Box] Barreiras
 [Box with Ticks] Arenito calcífero

4. FUNDAMENTOS BÁSICOS DA QUALIDADE DAS ÁGUAS E CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

O conceito de qualidade das águas geralmente está associado às características delas quanto à utilização. Neste sentido, o conhecimento de suas propriedades físicas, químicas e bacteriológicas são fundamentais, as quais são determinadas através de análises específicas.

As análises físicas correspondem às determinações de temperatura, cor, turbidez, odor e gosto. Esses parâmetros têm importância de ordem fundamentalmente estética. A percepção do homem nas alterações da qualidade das águas através dos sentidos dá-se pelas características físicas das águas, pois espera-se que ela seja incolor, insípida e inodora. As águas subterrâneas de Natal, de acordo com os resultados das análises físicas de águas de 33 poços tubulares, em geral não apresentam restrições quanto a esses parâmetros (anexo 9.5).

As análises bacteriológicas geralmente consistem em testes para determinar a presença de organismos coliformes. Os resultados das análises de coliformes totais e fecais das águas subterrâneas de Natal serão apresentados e discutidos no capítulo 6 referente a contaminação das águas subterrâneas.

Na água subterrânea natural a maioria das substâncias dissolvidas se encontram em estado iônico. As análises químicas consistem na determinação dos íons que geralmente estão presentes, denominados de constituintes fundamentais, que são os cátions sódio, cálcio e magnésio, e, os ânions cloreto, sulfato e bicarbonato. Além desses íons, estão presentes nas águas e são considerados neste trabalho os íons nitrato, carbonato, potássio e ferro, que geralmente são incluídos como constituintes secundários das águas. Dentre os elementos menores ou seja aqueles que ocorrem em concentrações muito baixas nas águas subterrâneas (geralmente inferior a 1,0mg/l), foram estudados os metais pesados representados pelo cromo hexavalente, zinco, chumbo, cádmio e mercúrio, e, também o fósforo.

A interpretação de dados de análises d'água, especificamente resultados de análises químicas, além de permitir a caracterização do uso das águas, pode fornecer

informações importantes sobre a origem e evolução da qualidade das mesmas. Contribui, também, em avaliações hidrogeológicas, tais como indicação de zonas de recarga, descarga, movimentação e armazenamento de águas subterrâneas.

4.1 - Normas de Potabilidade

De um modo geral a água é considerada potável quando pode ser consumida pelo homem sem perigo nenhum para sua saúde. Os órgãos sanitários apresentam padrões de potabilidade que variam em cada país, em função das peculiaridades locais. Percebe-se, entretanto, a tendência mundial de normalização das regulamentações existentes.

Os guias atuais para determinar a potabilidade das águas baseiam-se em dois critérios distintos: sua importância para a saúde, no que diz respeito aos efeitos tóxicos, carcinogênicos e mutagênicos, e os aspectos organolépticos ou estéticos. No primeiro caso, intervêm os caracteres químicos e bacteriológicos das águas. A água é de boa potabilidade química quando a concentração de seus elementos satisfazem as condições fixadas para eles e bacteriológica, quando as águas estiverem isentas de bactérias patogênicas. O segundo caso, refere-se ao sabor, cor, odor e turbidez.

Entre os constituintes químicos, existem os elementos de natureza inorgânica, que são mais comuns e aqueles de natureza orgânica, ainda não amplamente conhecidos e dominados em termos de avaliações e limites de potabilidade. A Tab. 4.1, apresenta um resumo dos guias da Organização Mundial de Saúde (OMS) para a qualidade da água potável aplicada a constituintes inorgânicos.

O nitrato é o componente mais generalizado e problemático devido à sua alta mobilidade e estabilidade química em sistemas aeróbicos de águas subterrâneas. Os metais pesados perigosos, como cádmio, chumbo, cobre e mercúrio tendem a ser imobilizados por precipitação, ou outros processos. Em muitos aquíferos, porém,

migram significativamente em sistemas de águas subterrâneas com baixo pH e Eh (Foster *et al*, 1987).

Tab. 4.1 - Concentrações limites de constituintes inorgânicos para a qualidade da água potável (OMS, 1984).

ELEMENTOS NÃO METÁLICO	CONCENTRAÇÃO LIMITE RECOMENDADA (mg/l)	ELEMENTOS METÁLICOS (mg/l)	CONCENTRAÇÃO LIMITE RECOMENDADA (mg/l)
Amônio (NH ₄)	0,01	Alumínio (Al)	0,2
Nitrato (NO ₃)	45	Cádmio (Cd)	0,005
Sódio (Na)	200	Cromo (Cr)	0,05
Sulfato (SO ₄)	400	Cobre (Cu)	1
Fluoreto (F)	1,5	Ferro (Fe)	0,3
Cloreto (Cl)	250	Chumbo (Pb)	0,05
Arsênio (As)	0,5	Manganês (Mn)	0,1
Selenio (Se)	0,01	Mercurio (Hg)	0,001
Cianureto (CN)	0,1	Zinco (Zn)	5

Concentrações excessivas dos constituintes iônicos principais das águas subterrâneas, tais como sódio, sulfato, cloreto e magnésio, e, também o ferro, não apresentam perigo direto para a saúde do consumidor, porém produzem efeitos organolépticos que podem impossibilitar o consumo das águas (Fenzl, 1988).

No caso dos constituintes orgânicos, estão incluídos nesta categoria os hidrocarbonetos (derivados do petróleo) e os compostos orgânicos sintéticos, tais como os solventes sintéticos, desinfetantes e pesticidas que têm um uso muito difundido em toda escala industrial. A Tab. 4.2 apresenta um resumo das normas de qualidade de água potável aplicadas aos compostos orgânicos.

Com relação a qualidade bacteriológica, os guias atuais da OMS recomendam que as águas de suprimento devem ser isentas de bactérias indicadoras de poluição fecal.

Tab. 4.2 - Concentrações limites de constituintes orgânicos para a qualidade da água potável (OMS, 1984).

COMPOSTOS ORGÂNICOS	CONCETRAÇÃO RECOMENDADA (mg/l)	ORGÂNICOS HALOGENADOS	CONCETRAÇÃO RECOMENDADA (mg/l)
hidrocarbonetos alifáticos	0,010	Tricloroetileno	0,030
Fenois	0,0005	Tetracloroetileno	0,010
Benzeno	0,010	1.1.1 Tricloroetano	0,010
Tolueno	-	Tetracloroeto de carbono	0,003
Poliaromáticos	0,0001	Cloroformio	0,030
		Cloreto de Metileno	-
		Clorobenzeno	0,0001
		Clorofenois	0,0001

4.2 - Resultado das Análises Químicas

A caracterização química das águas é apresentada com base nos resultados de análises químicas. Os dados hidroquímicos foram sumarizados em termos de valores médios e parâmetros estatísticos, que permitiram uma avaliação da dispersão dos valores, conforme descrição a seguir.

4.2.1 - Análises químicas parciais

A Tab. 4.3 apresenta os valores médios e parâmetros estatísticos de dados de condutividade elétrica, pH, cloreto e nitrato, de amostras d'água que inclui poços rasos tipo cacimbão e fontes. Essas determinações foram efetuadas de dezembro de 1992 a março de 1993. Apenas no caso do pH (231 amostras) a dispersão de valores é pequena com um coeficiente de variação de 15% e desvio padrão de 0,74. Nas demais situações, o coeficiente de variação atinge 62% para o cloreto (39 amostras), 96% para a condutividade elétrica (229 amostras) e 175% no caso do nitrato (175 amostras). Esta extrema variação dos nitratos é explicada pela ausência deste íon em alguns pontos d'água. O pH variou de 4,0 a 8,0, com média de 4,99, o que permite

caracterizar as águas como ácidas. A condutividade elétrica média obtida foi de 228,97 $\mu\text{S/cm}$, dentro de uma variação de 35,00 a 1430,00 $\mu\text{S/cm}$, portanto, amplitude de aproximadamente 1400,00 $\mu\text{S/cm}$. O teor médio de cloreto é de 34,69 mg/l, para um valor mínimo de 14,00 mg/l e máximo de 77,00 mg/l. O íon nitrato com média de 15,25 mg/l, variou de 0,00 a 150,60 mg/l.

Tab. 4.3 - Parâmetros estatísticos de valores de pH, condutividade elétrica, cloreto e nitrato de águas de cacimbões e fontes (dezembro de 1992 a março de 1993).

Melo (1995)

PARÂMETRO	Nº DE AMOSTRAS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	VARIAÇÃO
pH	231	4,99	0,74	0,15	4,00-8,00
Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	229	228,97	219,04	0,96	35,00-1430,00
Cloreto (mg/l)	39	34,69	21,40	0,62	14,00-77,00
Nitrato (mg/l)	175	15,25	26,68	1,75	0,00-150,60

Foram efetuadas, para os poços tubulares profundos, avaliações similares àquelas apresentadas para os poços rasos e fontes (Tab 4.4). Estão incluídos poços tubulares do Sistema Público de Abastecimento e poços particulares. Verifica-se entre esses, como no caso anterior, grande dispersão de valores dos parâmetros hidroquímicos, excetuando o pH, no qual o coeficiente de variação é de apenas 10%.

Tab. 4.4 - Parâmetros estatísticos de valores de pH, condutividade elétrica, cloreto e nitrato de águas de poços tubulares profundos (julho a setembro de 1993).

Melo (1995)

PARÂMETRO	Nº DE AMOSTRAS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	VARIAÇÃO
pH	147	5,67	0,55	0,10	4,40-7,80
Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	147	167,31	114,87	0,69	44,00-680,00
Cloreto (mg/l)	145	26,89	13,30	0,49	9,00-93,00
Nitrato (mg/l)	146	40,54	4,15	0,99	0,00-203,70

O pH médio obtido para os poços profundos é de 5,67 (147 amostras), sendo superior ao obtido para os poços rasos e fontes (4,99). No caso da condutividade elétrica (147 amostras), o valor médio de 167,31 mostra que estas águas são menos salinas do que a dos poços rasos e fontes. Também, o teor médio do cloreto (26,89 mg/l) atesta este fato. No que se refere ao íon nitrato (146 amostras), o comportamento é diferente ou seja as águas dos poços profundos são mais enriquecidas neste composto de nitrogênio. O teor de nitrato é, em média, 40,54 mg/l enquanto que nos poços rasos e fontes, é de apenas 15,25 mg/l. As implicações serão discutidas no capítulo 6.

Considerando os poços do Sistema Público de Abastecimento e os poços particulares, isoladamente, Tab. 4.5, verifica-se que estes últimos apresentam uma maior dispersão de valores e os teores salinos e a concentração do íon nitrato são mais elevados. Foram elaborados histogramas dos parâmetros em discussão (Fig. 4.1 e Fig. 4.2), nos quais pode ser observado que quase 70% dos poços do Sistema Público de Abastecimento apresentaram pH entre 5,2 e 5,7. No caso dos poços particulares, este percentual indica valores de pH aproximadamente entre 4,4 a 5,9. Com relação a condutividade elétrica, 66% dos poços do Sistema Público apresentaram valores inferiores a 125,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e nos poços particulares, este mesmo percentual representa valores abaixo de 225 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O cloreto em 70% das águas dos poços apresenta teores abaixo de 23 mg/l nos poços públicos e no caso dos particulares, esta cifra é inferior a 35 mg/l. Mais de 60% dos poços públicos indicaram concentração de nitrato inferiores a 30 mg/l, enquanto nos poços particulares apenas 43% estão abaixo deste valor.

Tab. 4.5 - Parâmetros estatísticos de valores de pH, condutividade elétrica, cloreto e nitrato de águas de poços do Sistema Público de Abastecimento d'Água (A) e particulares (B). (julho a setembro de 1993).

Melo (1995)

PARÂMETRO	Nº DE AMOSTRAS		MÉDIA		DESVIO PADRÃO		COEFICIENTE DE VARIAÇÃO		VARIAÇÃO	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
pH	66	81	5,60	5,72	0,34	0,67	0,06	0,12	4,80 - 6,50	4,40-7,80
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	66	81	119,29	205,20	55,93	138,99	0,47	0,68	44,00-300,00	53,00-680,00
Cloreto (mg/l)	66	79	20,83	31,95	6,21	15,41	0,30	0,48	9,00-440,00	16,00-93,00
Nitrato (mg/l)	66	80	27,15	50,70	21,41	48,00	0,79	0,95	0,00-97,40	0,80-203

Fig. 4.2 - Histogramas de Cl, C, NO₃ e pH de águas de poços particulares (Agosto e Setembro 1993)
Melo (1995)

Fig. 4.1 - Histogramas de Cl, C, NO₃ e pH de águas de poços do Sistema Público de Abastecimento (Julho a Agosto 1993)

4.2.2 - Análises químicas completas

Os resultados das análises químicas completas das águas, de uma campanha de amostragem em 36 poços selecionados, executadas de janeiro a março de 1994, estão resumidas na tabela 4.6, em termos de valores médios e parâmetros estatísticos. De um modo geral a dispersão de valores é elevada, já que o coeficiente de variação é na maioria dos casos superior a 50%. O pH, condutividade, nitrato e cloreto, apresentam valores coerentes com as determinações efetuadas em 1993, apesar de algumas variações.

O sulfato, bicarbonato e o cálcio foram as determinações que mais variações apresentaram, com coeficientes de variação que atinge 200% (no caso do sulfato), o que se explica pelo fato de algumas amostras não terem apresentado nenhum valor. Os sólidos totais dissolvidos variaram de 44,40 a 402,80 mg/l, com média de 165,17 mg/l. A relação linear da condutividade elétrica(C) com os sólidos totais(STD) dissolvidos fica assim definida:

$$\frac{C}{STD} = \frac{224,89}{165,17} \quad \text{ou} \quad c = 1,36 \text{ STD}, \quad \text{Onde:} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

C em $\mu\text{S/cm}$ e STD em mg/l

A dureza total é, em média, de 41,24 mg/l de CaCO_3 , cujos valores variam de 9,32 a 110,88 mg/l de CaCO_3 . No geral, portanto, são águas brandas com alguns casos de águas duras. O baixo pH das águas, conforme apresentado, condiciona a ausência de ions carbonatos, e, por conseguinte, alcalinidades do tipo TA nulas e do tipo TAC equivalentes àquelas atribuídas aos ions bicarbonatos. A alcalinidade TAC varia de 0,00 a 99,96 mg/l de CaCO_3 , com média de 10,80 mg/l de CaCO_3 .

O fósforo foi detectado esporadicamente nas amostras de água, e assim mesmo em concentrações de 0,01 ou 0,02 mg/l.

Tab. 4.6 - Parâmetros estatísticos de dados hidroquímicos de poços tubulares (janeiro a março de 1994).

Melo (1995)

PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS	MÉDIA X (mg/l)	DESVIO PADRÃO (mg/l)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	VARIAÇÃO (mg/l)
pH (adm.)	36	5,44	0,72	0,13	4,00-7,00
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{Cm}$)	36	24,84	134,44	0,60	56,00-570,00
Sólidos totais	36	165	96,64	0,59	44,40-402,80
Dureza	36	41,24	27,24	0,66	9,32-110,88
Sódio	36	22,47	14,42	0,64	7,00-66,66
Potássio	36	2,50	1,67	0,67	0,49-7,14
Calcio	36	7,05	7,15	1,01	0,75-24,62
Magnésio	36	5,65	4,37	0,77	0,90-21,50
Ferro	25	0,44	0,23	0,52	0,12-1,12
Cloreto	36	28,35	14,00	0,49	10,59-56,47
Sulfato	36	1,22	2,45	2,01	0,00-13,33
Bicarbonato	36	23,30	29,04	1,25	0,00-121,95
Nitrato	36	48,68	38,90	0,80	1,21-160,79
Alcalinidade (mg/l de CaCO_3)	35	10,80	-	-	0,00-99,96
Dureza total (mg/l de CaCO_3)	35	41,24	-	-	9,32-110,88

4.3 - Avaliação Hidrogeoquímica

Os cátions e os ânions principais das análises químicas completas das águas, tanto dos resultados obtidos no âmbito deste trabalho, como de dados já existentes (ACQUA-PLAN, 1988), foram plotados no diagrama triangular de PIPER em unidades percentuais de meq/l, o que permitiu a identificação das fácies hidroquímicas. Estas representações, em associação com diagramas colunares, levarão à caracterização dos tipos iônicos dominantes. A Fig. 4.3 apresenta a localização dos pontos d'água considerados nesta avaliação.

No diagrama da Fig. 4.4, estão incluídos os dados dos íons principais e associação de íons de águas de uma lagoa, de poços rasos (incluindo cacimbões e piezômetros) e de poços tubulares e piezômetros profundos, de acordo com as

Fig.4.3-Localização dos poços com análise química completa.

informações levantadas pela ACQUA-PLAN no período de março a julho de 1988. As indicações entre parênteses (nas Fig. 4.3 e Fig. 4.4) significam poços que não constaram do inventário de campo executado neste trabalho (em 1994). Também, os piezômetros, todos eles localizados na área do Centro Administrativo, são pontos que não foram mais localizados recentemente, encontrando-se uma boa parte deles enterrados.

A maioria das águas ficam agrupadas em áreas bem definidas, que com o auxílio da Fig. 4.5, permitiram a identificação de águas bicarbonatadas cálcicas e águas cloretadas e/ou nitratadas cloretadas sódicas.

Fig. 4.5 - Representação em colunas de resultados de análises químicas de águas de poços (Março a Julho 1988)

As águas do tipo bicarbonatadas cálcicas foram captadas de cacimbões, piezômetros rasos e de uma lagoa (ressurgência de água subterrânea), portanto são representativas de águas subterrâneas rasas (até cerca de 30m de profundidade). As águas cloretadas sódicas são águas mais profundas. Estas, foram bombeadas de poços tubulares que geralmente apresentam profundidades superiores a 70m. Convém observar (Tab. 4.7) que o cacimão C-(121) com 30,00m de profundidade já apresenta água do tipo cloretada sódica.

Tab. 4.7 - Íons dominantes nas águas subterrâneas obtidos a partir de dados de análises de 1988.

Melo (1995)

PONTO D'ÁGUA	PROF. (m)	ÍONS DOMINANTES	PONTO D'ÁGUA	PROF. (m)	ÍONS DOMINANTES
Lagoa	-	HC0 ₃ -Ca	C-211	4,50	HC0 ₃ -Ca
PZ-2	11,00	HC0 ₃ -Ca	C-(121)	30,00	NO ₃ -Cl-Na
PZ-2A	12,00	HC0 ₃ -Na-Ca	C-28	3,00	Cl-Na
C-77	22,40	HC0 ₃ -Na-Ca	54	100,00	Cl-Na
C-(252)	-	HC0 ₃ -Ca	133	80,00	NO ₃ -Cl-Na
PZ-10B	43,00	NO ₃ -Cl-Na	136	77,00	Cl-Na
87	150,00	Cl-Na	134	85,00	Cl-Na
84	80,00	NO ₃ -Cl-Na	137	79,00	Cl-Na
82	62,00	NO ₃ -Cl-Na	132	80,00	Cl-Na
C-(199)	20,60	NO ₃ -HCO ₃ -Na-Mg	51	96,00	NO ₃ -Cl-Na
C-(167)	37,70	NO ₃ -Cl-Na	88	84,00	NO ₃ -Cl-Na
(20)	-	HC0 ₃ -Ca	(116)	>60,00	NO ₃ -Cl-Na
C-(11)	2,60	HC0 ₃ -Ca	(89)	>60,00	NO ₃ -Cl-Na
C-208	4,66	Cl-NO ₃ -Na	(48)	>60,00	NO ₃ -Cl-Na

Observado o triângulo dos cátions (Fig. 4.4) nota-se que há uma mudança de bases com a profundidade, o cátion cálcio passando para o alcalino sódio. Com relação aos ânions, o bicarbonato é substituído pelo cloreto, sob influência provavelmente da maior solubilidade deste íon em profundidade.

Uma situação diferente é observada com o cacimbão C-28, que com apenas 3,0m de profundidade contém águas cloretadas sódicas, o que se justifica pelo fato do mesmo está situado na praia nas proximidades do mar. Comportamento similar ocorre com o cacimbão C-208, com 4,6m de profundidade, que é influenciado pelas águas salinas do rio Potengi. O comportamento dos alcalinos pode ser melhor avaliado através do índice de troca de bases (ITb), obtido pela expressão:

$$ITb = \frac{rCl - r(Na+K)}{rCl}, \quad \text{Onde:} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

$$r = \text{meq/l.}$$

Os índices de troca de bases são geralmente negativos (Tab. 4.8), sugerindo que há a transferência de alcalinos do terreno para a água através do processo de dissolução. Alguns valores já se mostram muito próximo de zero indicando um certo equilíbrio dos componentes da água com o terreno nas quais circulam. Isto é o que se verifica nos poços 54, 136 e c-28, cujos valores do índice de troca de bases são de -0,02; -0,09 e +0,09, respectivamente. Este último, com o valor do Itb positivo, indicando desta feita o fornecimento de alcalinos da água para o terreno.

Tab. 4.8 - Valores de índice de troca de bases (ITb) das águas subterrâneas obtidas a partir de dados de análises de 1988.

			Melo (1995)		
PONTO D'AGUA	PROF. (m)	ITb	PONTO D'AGUA	PROF. (m)	ITb
Lagoa	-	-0,46	C-211	4,50	-0,58
PZ-2	11,00	-0,60	C-(121)	30,00	-0,56
PZ-2A	12,00	-0,40	C-28	3,00	+0,09
C-77	22,40	-1,60	54	100,00	-0,02
C-(252)	-	-5,30	133	80,00	-0,76
PZ-10B	43,00	-1,76	136	77,00	-0,09
87	150,00	-0,33	134	85,00	-0,25
84	80,00	-0,76	137	79,00	-0,11
82	62,00	-1,45	132	80,00	-0,52
C-(199)	20,60	-22,20	51	96,00	-1,33
C-(167)	37,70	-1,50	88	84,00	-0,47
(20)	-	-1,73	(116)	>60,00	-0,42
C-(11)	2,60	-0,46	(89)	>60,00	-0,25
C-208	4,66	-0,40	(48)	>60,00	-0,23

De acordo com IPT (1982), as águas de chuva da área de Natal são do tipo cloretada-sódica, o que é perfeitamente justificável, devido a influência do mar através dos aerossóis, cujos íons dominantes são o ânion cloreto e o cátion sódio. Assim sendo, estas águas até atingirem o nível das águas subterrâneas sofrem modificações hidroquímicas, que as transformam em águas bicarbonatadas cálcicas. Isto ocorre, provavelmente, devido ao aporte de CO_2^- da atmosfera e do CO_2^- produzido pela respiração dos microorganismos, com o conseqüente enriquecimento das águas em íons HCO_3^- e Ca^{2+} , conforme reação a seguir:

De acordo com Loyd & Heathcote (1985), as águas subterrâneas com dominância de bicarbonatos e cálcio, frequentemente indicam águas de recarga em arenitos e calcários, enquanto as águas com cloreto e sódio dominantes indicam águas de circulação profunda ou de zonas de descarga, o que está perfeitamente coerente com o obtido na área de Natal.

A interpretação dos resultados das 35 análises químicas completas, executadas no âmbito deste trabalho (janeiro a maio de 1994), mostra um comportamento similar do ponto de vista hidrogeoquímico com relação ao obtido com os dados já existentes de 1988. Ver localização dos pontos d'água na Fig. 4.3. Os resultados das análises obtidas recentemente atestam que as águas subterrâneas profundas são cloretadas sódicas e/ou nitradas cloretadas sódicas (Fig. 4.6 e Fig. 4.7) e que as águas rasas são bicarbonatadas (cacimbão C-2).

A presença do íon nitrato como ânion dominante na maioria das águas (Tab. 4.9), está relacionada ao processo de contaminação que será discutido no capítulo 6.

Os índices de troca de bases em todos os casos são negativos (Tab. 4.10), mostrando mais uma vez o enriquecimento da água em alcalinos dado ao processo de troca de bases com o terreno. Alguns pontos d'água (ITb próximos de zero) também já indicam equilíbrio das águas com o terreno quanto ao intercâmbio iônico. Um aspecto que merece ser mencionado é o baixo percentual de ocorrência de sulfatos nas águas subterrâneas.

Tab. 4.9- Íons dominantes nas águas subterrâneas (janeiro a maio de 1994)

Melo(1995)

POÇO	IONS DOMINANTES	POÇO	IONS DOMINANTES
167	NO ₃ -Cl-Na	156	Cl-Na
182	NO ₃ -Cl-Na	100	NO ₃ -Cl-Na
171	NO ₃ -Cl-Na	101	NO ₃ -Cl-Na
180	NO ₃ -Cl-Na	104	NO ₃ -Cl-Na
03	Cl-Na	105	NO ₃ -Cl-Na
68	NO ₃ -Cl-Na	106	NO ₃ -Cl-Na
96	NO ₃ -Cl-Na	107	Cl-NO ₃ -Na
75	Cl-NO ₃ -Na	109	NO ₃ -Cl-Na
C-02	HCO ₃ -Na	110	Cl-NO ₃ -Na
67	NO ₃ -Cl-Na-Mg	123	Cl-Na
88	Cl-Na	129	NO ₃ -Cl-Na
54	Cl-Na	149	NO ₃ -Cl-Na
47	Cl-NO ₃ -Na	150	NO ₃ -Cl-Na
04	Cl-Na	152	NO ₃ -Cl-Na
09	Cl-Na	158	NO ₃ -Cl-Na-Mg
30	Cl-Na	161	Cl-Na
33	Cl-Na	181	Cl-Na
74	Cl-NO ₃ -Na		

Tabela 4.10 - Valores de índice de troca de bases das águas subterrâneas (janeiro a maio de 1994)

Melo (1995)

POÇO	ITb	POÇO	ITb	POÇO	ITb	POÇO	ITb
167	-0,97	67	-0,02	156	-0,23	123	-0,08
182	-0,60	88	-0,26	100	-0,76	129	-0,43
171	-0,97	54	-0,07	101	-0,82	148	-0,64
180	-0,78	47	-0,35	104	-0,07	150	-0,47
03	-0,25	04	-0,17	105	-0,28	152	-0,75
68	-0,30	09	-0,10	106	-1,16	158	-0,28
96	-0,47	30	-0,24	107	-0,25	161	-0,10
75	-0,29	33	-0,09	109	-0,72	181	-0,10
C-02	-0,29	74	-0,36	110	-0,20		

4.4 - Agressividade das Águas

O "índice de saturação" de uma água revela a tendência desta água em precipitar carbonato de cálcio (incrustação) ou em dissolver carbonato de cálcio (corrosão). Através deste parâmetro fica então caracterizado a agressividade, neutralidade e incrustabilidade de uma água. O índice de saturação é expresso por:

$$I_L = pH - pH_s, \quad \text{onde:} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

I_L = índice de saturação ou índice de Langelier.

pH = pH medido na amostra

pH_s = pH de saturação ou de equilíbrio

Se $I_L > 0$, a água está em condições de precipitar carbonato de cálcio.

$I_L = 0$, a água está em equilíbrio $\text{CaCO}_3\text{-H}_2\text{O-CO}_2$

$I_L < 0$, se a água é agressiva.

O pH de equilíbrio, no presente trabalho, foi obtido utilizando o diagrama de Hoover - Langelier (Fig. 4.8), através do conhecimento da temperatura, resíduo seco ou sólidos totais dissolvidos, concentração de cálcio e alcalinidade. A Tab. 4.11 apresenta os dados desses parâmetros e os valores obtidos para o pH de equilíbrio e "índice de saturação", na qual pode-se notar que as águas em geral são corrosivas (agressivas). Não foram identificadas águas incrustantes.

Esta é a razão pela qual os poços construídos na área de Natal com filtros de ferro galvanizado apresentam vida útil relativamente baixa. O primeiro sinal que o poço está sendo afetado pela corrosão da água e a presença de areia ou do próprio cascalho (prefiltro) nas águas bombeadas, seguido de queda da produtividade. Atualmente, os poços do Sistema Público de Abastecimento são construídos com filtros de aço inoxidável e tubos de PVC aditivados, resistentes às ações corrosivas das águas. Devido ao custo relativamente elevado dos filtros de aço inoxidável, os poços particulares são projetados e construídos com filtros de PVC, que são de custos

Fig. 4.8 - Diagrama de Hoover-Langelier para determinar o pH de equilíbrio de uma água em função da temperatura, resíduo seco, concentração de cálcio e alcalinidade TAC (Custodio & Llamas, 1976)

relativamente mais baixos que os de aço inoxidável, embora muito menos eficientes.

Tab. 4.11- Índice de saturação de Langelier (I_L)

POÇO	t	pH	Ca ⁺⁺ (ppm)	ALC (ppm CaCO ₃)	Rs (ppm)	pHs	I_L
104	27,5	5,7	8,58	6,94	250,40	9,8	-4,1
110	27,5	5,1	0,75	1,68	94,60	13,0	-7,9
101	27,5	6,5	7,65	12,42	138,20	9,4	-2,9
109	27,5	6,6	10,82	23,15	163,20	9,8	-2,4
107	27,5	6,0	11,94	19,36	325,00	9,4	-3,4
106	27,5	4,9	2,24	0,74	201,60	11,3	-6,4
100	27,5	4,5	1,68	0,00	146,00	11,2	-6,7
182	27,5	6,1	10,07	16,52	308,00	9,4	-3,3
158	27,5	5,5	1,49	3,79	137,20	11,0	-5,5
168	28,0	5,1	1,03	0,05	142,80	11,6	-6,5
96	26,0	5,4	0,75	2,52	78,80	11,4	-6,0
03	28,0	5,2	0,75	3,78	50,80	11,2	-6,0
156	26,0	5,3	0,75	5,15	62,40	11,0	-5,7
152	24,0	4,5	1,49	0,00	91,60	12,0	>6,7
150	28,0	5,3	3,73	6,42	206,40	10,1	-4,8
129	28,0	4,9	1,31	0,84	149,20	11,5	-6,6
75	26,0	5,3	2,90	4,20	138,20	10,4	-5,4
181	24,0	5,0	3,10	1,05	80,80	10,3	-5,3
180	26,0	5,2	2,98	3,68	85,60	10,5	-5,3
161	26,0	6,0	2,24	6,31	44,40	10,3	-4,3
171	28,0	5,8	21,63	47,45	396,40	8,4	-2,6
149	28,0	5,2	6,72	3,47	378,20	10,1	-4,9
123	27,5	5,4	0,56	1,26	42,2	11,7	-6,3
167	28,0	6,0	8,58	15,47	216,20	9,3	-3,1
105	28,0	7,0	10,82	24,1	172,00	9,1	-2,1
C-02	28,0	6,7	24,25	99,96	208,8	8,0	-1,3

t - temperatura

RS - resíduo seco

pHs - pH de equilíbrio

5. FATORES DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Neste capítulo é importante distinguir o significado dos termos contaminação e poluição, no sentido de que fique bem claro o uso dos mesmos.

Os dois termos costumam ser considerados como sinônimos, como é o caso de países de língua espanhola da América Latina. Com efeito, Custódio e Lamas, (1976), empregam indistintamente os dois termos. A origem das palavras também se confundem, já que "poluição" deriva do latim POLLUERE que significa manchar, sujar, e, contaminação significa misturar ou também infectar, sujar, manchar. É no sentido de infectar ou transmitir através da água que os termos têm sido diferenciados.

De acordo com o exposto em Branco (1984) e Branco *et al* (1991), cabe interpretar como poluição a introdução de substâncias ou elementos estranhos no interior de um manancial hídrico de forma a modificar a qualidade das suas águas tornando-as impróprias às formas de vida que ele normalmente abriga. E contaminação, o fato resultante da qualidade da água ser degradada notavelmente de forma a perder suas características de água potável. Neste sentido, a contaminação pode ser um caso particular de poluição. Uma água contaminada, entretanto, não necessariamente reflete uma poluição. A simples existência na água, de um aquífero, de um elemento tóxico prejudicial à saúde do homem indica uma contaminação, porém o ambiente pode não ter sido alterado significativamente de forma a caracterizar uma poluição.

A poluição, portanto, como bem enfatiza Branco (1984), caracteriza-se mais pelos efeitos ecológicos, que produzem transformações ao meio ambiente, enquanto a contaminação não tem sentido ecológico, mais eminentemente utilitário.

O risco potencial de contaminação das águas subterrâneas, em sua conceituação básica, é atribuído à interação entre dois fatores fundamentais; primeiro, a carga contaminante lançada no solo como resultado de atividade humana; segundo, a vulnerabilidade natural do aquífero de ser afetado por esta carga contaminante (Foster, *et al*, 1987; Foster, *et al*, 1988; Hirata, *et al*, 1990 e Bastos, *et al*, 1990).

A carga contaminante é caracterizada em função de sua classe, intensidade, modo de disposição no terreno e duração, enquanto que a vulnerabilidade do sistema aquífero depende da litologia e estrutura hidrogeológica do terreno. Portanto, a carga contaminante pode ser controlada ou modificada, o que não acontece com a vulnerabilidade do aquífero, a não ser quando as condições naturais são alteradas mediante a remoção de solos (caso de fossas sépticas, por exemplo) ou de material da zona insaturada, o que pode tornar o aquífero mais vulnerável.

A Fig. 5.1 apresenta o esquema conceitual de risco de contaminação das águas subterrâneas. Pode ser observado a possibilidade de obter uma alta

Fig.5.1 - Esquema conceitual de risco de contaminação (Foster et al, 1987)

vulnerabilidade sem riscos de contaminação, pela ausência de uma carga significativa de contaminante, e vice versa. É frequente considerar que um meio é pouco vulnerável quando a contaminação se propaga muito lentamente. Esta definição deve ser questionada, já que dizer que um terreno é pouco vulnerável a curto prazo não

especifica nada com relação a situação a longo prazo, já que se o contaminante é conservativo ou pouco degradável e não se dilui, acabará por aparecer (Custódio & Carrera, 1989). Além disso, os aquíferos de menor vulnerabilidade à contaminação, em termos gerais, tendem a ser os mais difíceis de reabilitar uma vez contaminados (Foster & Hirata, 1991) e, portanto, esta constitui mais uma limitação prática do conceito de vulnerabilidade.

5.1. Caracterização das Fontes Potenciais de Contaminação das Águas Subterrâneas de Natal.

Foi efetuado o cadastramento das atividades que potencialmente podem vir a contaminar as águas subterrâneas de Natal (Fig. 5.2), mediante o preenchimento em campo de fichas elaboradas para cada tipo de atividade impactante, cujos resultados são apresentados a seguir.

5.1.1 - Disposição local de efluentes domésticos

O sistema público da rede de esgotos da cidade de Natal cobre menos de 20% da área considerada neste trabalho, e abrange total ou parcialmente os bairros do Tirol, Alecrim, Petrópolis e Ribeira. O sistema da Ribeira é o mais antigo e foi instalado a mais de 40 anos, enquanto no Tirol existem ramais recentes que datam de 5 anos atrás. A maior parte da área, portanto, não dispõe de rede de esgotos, sendo utilizado o sistema de disposição local de efluentes, mediante o uso, em geral, de fossas sépticas e sumidouros. Os efluentes e resíduos sólidos armazenados, após impermeabilização do terreno e transbordamento dos reservatórios receptores, são esgotados e transportados para lagoas de estabilização. É reconhecido, que os sistemas de saneamento com disposição local dos efluentes podem contaminar as águas subterrâneas por micro-organismos patogénicos e produtos da bio-degradação dos excrementos humanos como são os nitratos.

Fig. 5.2 - Fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas

Avaliou-se o perigo potencial de contaminação das águas subterrâneas devido às condições de saneamento com base na cobertura da rede de esgotos e distribuição populacional de acordo com Foster & Hirata (1991). Foram definidas três zonas de diferentes densidades populacionais com base nos resultados de estudos de Costa (1985) e identificadas como zona de alta, média e baixa densidade populacional que correspondem as faixas de > 200 hab/ha, $100-200$ hab/ha e < 100 hab/ha, respectivamente. A superposição destas zonas com o mapa de cobertura da rede de esgotamento sanitário permitiu a caracterização das sub-zonas A,B,C,D,E e F, que definem a categoria de perigo potencial de contaminação (Fig. 5.3).

As sub-zonas de maior perigo potencial de contaminação das águas subterrâneas, são as designadas de C e E, as quais não dispõem de rede de esgotamento sanitário e são de densidade populacional média a elevada. A sub-zona B é de baixo perigo potencial de contaminação, já que a densidade populacional é baixa e dispõe de rede de esgotos. As demais sub-zonas são de perigo potencial moderado.

5.1.2 - Atividades industriais

A contaminação de águas subterrâneas por atividades industriais foi constatada em algumas áreas do Brasil. Na Região do Complexo Petroquímico de Camaçari, na Bahia, a contaminação com orgânicos sintéticos e metais tóxicos é um problema evidenciado (Rebouças, 1991). Na Região de Samaritá - São Vicente, SP, Bernardes Jr & Cleary (1988) mostraram que as águas subterrâneas estavam contaminadas por tetracloreto de carbono provenientes de resíduos químicos industriais.

Na área de Natal foram cadastradas 14 indústrias consideradas de maior porte, e, de possíveis efeitos impactantes nas águas subterrâneas. Em função do tipo de indústria e volume d'água utilizado, avaliou-se qualitativamente a categoria de perigo potencial atribuído às mesmas, de acordo com o estabelecido em Foster & Hirata (1991) - Tab. 5.1.

Fig. 5.3 - Perigo potencial de contaminação em função das condições de saneamento e densidade populacional

Das indústrias cadastradas, cinco delas são textéis com perigo potencial moderado a alto, e, apresentando como contaminantes principais a matéria orgânica e orgânicos sintéticos. Quatro indústrias são de alimento, de perigo potencial baixo a moderado, com riscos de contaminação por matéria orgânica e patógenos. Foram cadastradas duas indústrias de couro, caracterizadas de alto perigo potencial de contaminação, cujos contaminantes de destaque são orgânicos sintéticos e metais pesados.

As duas indústrias de processamento de metais são de alto perigo potencial para as águas subterrâneas, tendo os metais pesados como os prováveis elementos impactantes.

5.1.3 - Disposição no solo de resíduos sólidos

O lixo produzido nas cidades é geralmente lançado em locais específicos à céu aberto com agressão visível ao meio ambiente ou de forma mais técnica e supostamente menos impactante no subsolo formando os aterros sanitários. De acordo com Freeze & Cherry (1979), uma cidade de um milhão de pessoas gera lixo num volume anual equivalente a 80 ha cobertos por 5m de profundidade.

O lixo depositado na superfície do solo ou disposto nos aterros sanitários está sujeito a lixiviação pela percolação da água derivada da chuva. Neste processo, que envolve a decomposição biológica dos resíduos, é produzido um líquido de coloração escura conhecido como chorume, o qual pode se infiltrar no terreno e atingir as águas subterrâneas, contaminando-as. O chorume contém, em geral, um grande número de contaminantes inorgânicos que inclui compostos de nitrogênio e metais pesados, e, também, contaminantes orgânicos. O risco de contaminação das águas subterrâneas é reduzido, caso os aterros sanitários ou depósitos de lixo sejam localizados sob condições hidrogeológicas apropriadas (Scudino, 1992 e Schalch *et al*, 1992).

Tab. 5.1 - Categoria de perigo potencial para as águas subterrâneas devido as atividades industriais na cidade de Natal/RN

Melo (1995)

Nº	INDUSTRIA	ATIVIDADE INDUSTRIAL	PRINCIPAL CONTAMINANTE	INDICE DE CONTAM. POTENCIAL	USO DA ÁGUA (m3/dia)	PERIGO POTENCIAL PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
01	Alpargatas	Textil	Matéria orgânica e orgânicos sintéticos	2 (médio)	100-1000	Moderado
02	Leite "Clan"	Alimento	Matéria orgânica e patógenos	1 (baixo)	> 1000	Moderado
03	Curtume J.Mota	Couro	Orgânicos sintéticos, metais pesados	3 (alto)	100-1000	Alto
04	Curtume Poty Couros	Couro	Orgânicos sintéticos, metais pesados	3 (alto)	< 100	Alto
05	Guararapes	Textil	Matéria orgânica e orgânicos sintéticos	2 (médio)	100-1000	Moderado
06	Industria Jossan	Proc. Metais	Metais pesados	3 (alto)	100-1000	Alto
07	S.A. Fiação Borborema	Textil	Matéria orgânica e orgânicos sintéticos	2 (médio)	< 100	Moderado
08	S.A.A.B. Indust. e Com. LTDA	Textil	Matéria orgânica e orgânicos sintéticos	2 (médio)	> 1000	Alto
09	Savoury Indust. e Com. LTDA	Alimento	Matéria orgânica e patógenos	1 (baixo)	< 100	Baixo
10	Dore Industria Refrig. LTDA	Alimento e Bebida	Matéria orgânica e patógenos	1 (baixo)	< 100	Baixo
11	Simas Ind. S.A.	Alimento	Matéria orgânica e patógenos	1 (baixo)	< 100	Baixo
12	Siprofar S/A	Farmacêutico	Matéria orgânica e orgânicos sintéticos	3 (alto)	> 1000	Alto
13	Soriedem	Textil	Matéria orgânica e orgânicos sintéticos	2 (médio)	100-1000	Moderado
14	Prometal	Proc. Metais	Metais pesados	3 (alto)	100-1000	Alto

Estudos realizados nas imediações do aterro sanitário de Taubaté, no estado de São Paulo, mostraram que os indicadores de contaminação das águas subterrâneas são representados pela condutividade elétrica, cloreto, sódio e o nitrogênio amoniacal (Parisot *et al*, 1984). Impactos de lixões nas águas subterrâneas foram também avaliados na Bacia do Rio Pardo (Sinelli *et al*, 1988), no qual se verificou um ligeiro enriquecimento de nitrato. Recentemente, têm sido empregadas técnicas geofísicas, tradicionalmente utilizadas na prospecção de petróleo, mineral e água subterrânea, no estudo e mapeamento de áreas contaminadas por aterros sanitários (Ellert *et al*, 1986; Ellert & Filho, 1988 e Ellert *et al*, 1990).

A área de lançamento do lixo produzido na cidade de Natal é o Parque de Reciclagem e Compostagem de Lixo situado no bairro de Cidade Nova, administrado pela prefeitura local, o qual recebeu outras designações como "o lixão" ou "Forno do Lixo". Os dados oficiais do Setor de Planejamento Urbano indicam que o sistema entrou em operação como aterro sanitário em agosto de 1988, porém sabe-se que a área é utilizada como depósito de lixo desde 30 anos atrás.

Cerca de 20% do lixo é reciclado. A área atual do aterro atinge mais de 10 ha e desenvolve uma espessura superior a 20m. O total de resíduo disposto foi estimado em 3.300.000 m³. A maior parte do lixo é de origem doméstica, com uma pequena parcela de natureza hospitalar e quantidade pouco expressiva de lixo industrial.

O aterro sanitário está situado sobre elevações dunares na zona principal de recarga do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras, cuja estrutura hidrogeológica local (Fig. 5.4) indica a presença de areias de dunas até a profundidade de cerca de 30m, seguido de sedimentos argilo-arenosos da parte superior do "Barreiras" no intervalo de 30 a 60. A partir daí são arenitos com intercalações argilosas. O nível d'água no local situa-se a profundidade da ordem de 50m (fevereiro, 1993). A presença de níveis argilosos no meio poroso insaturado e a elevada profundidade do nível freático devem estar dificultando o acesso de contaminantes às águas subterrâneas.

Fig. 5.4 - Seção hidrogeológica esquemática no local do aterro sanitário de Natal.

5.1.4 - Postos de combustível e oficinas mecânicas

Os tanques de armazenamento de combustível, enterrados no sub-solo, que existem nos postos de gasolina, constituem fontes potenciais de contaminação para as águas subterrâneas. No Brasil, tem-se conhecimento do assunto apenas no Estado de São Paulo. Na área Metropolitana de São Paulo foram realizados estudos (Oliveira *et al*, 1990) que mostram os efeitos impactantes atribuídos a esses reservatórios. Constatou-se vários casos de poços contaminados por hidrocarbonetos devido a vasamentos nos tanques de combustível em consequência da ação corrosiva sobre estes tanques. Foi comprovado na Europa e Estados Unidos (Oliveira *et al*, 1990), através de experimentos, que os tanques de combustível de aço protegidos uncatodicamente ficam corroídos e vasam dentro de 20 anos após a instalação e, em grande parte dos casos, os mesmos não resistem 15 anos.

Na área de estudo, foram inventariados 54 postos de derivados de petróleo. Quinze destes postos entraram em operação há mais de 20 anos e a grande maioria dos mesmos não teve seus tanques substituídos, o que constitui uma ameaça às águas subterrâneas de ser afetadas por possíveis vazamentos destes combustíveis..

As oficinas mecânicas produzem resíduos tóxicos, tais como tintas, graxas e óleos, que se não forem adequadamente dispostos sobre a superfície do solo ou em fossas e sumidouros, podem contaminar as águas subterrâneas por compostos orgânicos sintéticos, hidrocarbonetos e metais pesados, mediante infiltração das águas de consumo. Na cidade de Natal foram cadastradas 194 oficinas, a maioria das quais lançam os efluentes em fossas ou sobre a superfície do solo, o que potencializa as contaminações. Não se tem conhecimento até o momento de problemas relativos à contaminação das águas subterrâneas de Natal por postos de combustível ou oficinas mecânicas.

5.1.5 - Hospitais e cemitérios

Apesar dos benefícios sociais advindos com a construção de hospitais, os mesmos quando não dispõem de um sistema eficaz de coleta dos efluentes e resíduos sólidos, podem constituir uma ameaça às águas subterrâneas por patógenos e até mesmo metais pesados como é o caso do mercúrio. Foram cadastrados 28 hospitais em Natal, os quais apresentam boas condições de operação do lixo. Os efluentes são descarregados na rede de esgoto do Sistema Público de Saneamento e os resíduos sólidos são dispostos em sacos plásticos dentro de câmeras de lixo e em seguida conduzidos para o aterro sanitário dos resíduos urbanos.

Alguns trabalhos sobre os impactos ambientais de cemitérios em meios urbanos foram desenvolvidos no Estado de São Paulo, entre os quais convém destacar Pacheco, 1986; Pacheco *et al*, 1988; Pacheco & Mendes, 1990; Pacheco *et al*, 1990; Martins *et al*, 1991 e Pacheco *et al*, 1992. De acordo com estes trabalhos, a presença

de cemitérios em meios urbanos podem provocar impactos físicos ao meio ambiente, dentre os quais o mais importante está no risco de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e até mesmo nitrato. A contaminação ocorre mediante a proliferação de micro-organismos durante o processo de decomposição dos corpos.

No domínio da área estudada de Natal existem cinco cemitérios nos quais os cadáveres na maior parte dos casos (70 a 90%) são dispostos em gavetas de concreto e em menor percentual (10 a 30%), os caixões são enterrados na areia. Em geral, as águas subterrâneas no domínio desses cemitérios estão situadas a profundidades superiores a 20m (fevereiro 1993) e em terrenos de natureza arenosa e argilo-arenosa.

5.1.6 - Expansão urbana

Os impactos de obras civis sobre a quantidade e qualidade das águas subterrâneas processa-se em geral muito lentamente e, portanto, com efeitos acumulativos, não observáveis diretamente e de difícil restauração (Custódio e Carrera, 1989).

Os impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal em consequência da ocupação e impermeabilização dos terrenos constitui um tema importante neste trabalho. Como visto no capítulo 3, os níveis d'água dos poços situados nos setores mais densamente povoados, como é o caso do P-1-R4, reagem muito lentamente com a ocorrência de chuvas com relação aos poços de setores ainda não ocupados extensivamente (poços P1 - captação Pirangi), o que mostra a influência da ocupação do terreno no processo de recarga das águas subterrâneas.

O setor sul da área de Natal (que compreende o San Vale), o qual constitui a zona principal de recarga do manancial hídrico subterrâneo, está sujeito à ocupação em boa parte de sua extensão segundo determinação do Instituto de Planejamento da Prefeitura de Natal. Uma obra viária com revestimento asfáltico já está

sendo construída pelo Governo do Estado, cruzando cordões dunares, o que poderá acelerar e ampliar o processo de urbanização naquele domínio caso não sejam tomadas precauções neste sentido. A ocupação deste espaço, com a impermeabilização do terreno, poderá diminuir a infiltração eficaz e modificar o caráter do fluxo subterrâneo, afetando desta feita as disponibilidades de água para a cidade de Natal. Desde que a vazão do fluxo subterrâneo é alterada, o volume d'água para diluição dos contaminantes poderá ser reduzido, e, por conseguinte, a qualidade das águas também poderá ser afetada. A extensão do impacto deverá ser proporcional às áreas e fatores de influência produzidos pela ocupação.

Como fator de influência assinala-se, no caso da rodovia, a implantação de obras às margens da mesma que constituam fontes potenciais de contaminação, como é o caso de postos de combustível (entre outros), o favorecimento do desenvolvimento urbano no setor e possíveis acidentes no transporte de material tóxico e ou radioativos.

5.1.7 - Outras fontes ou atividades impactantes

As demais fontes e atividades impactantes sobre as águas subterrâneas de Natal são as seguintes;

- fugas na rede de esgotos;
- disposição de efluentes domésticos em lagoas e drenos superficiais;
- cacimbas transformadas em fossas;
- poços sem proteção sanitária.

As tabulações da rede de esgotos na ausência de uma operação e manutenção eficientes estão sujeitas à vasamentos, com perigo potencial de contaminação para as águas subterrâneas. No setor norte da área de estudo, constatou-se a presença de entupimentos e vasamentos na rede de esgoto sob o trecho que atravessa

a Base Naval Almirante Ary Parreiras, com a consequente contaminação dos poços de captação d'água por microorganismos patogênicos, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato (Figueiredo *et al*, 1992).

Foram cadastradas quatro lagoas que regularmente recebem descargas de efluentes líquidos de esgotos clandestinos e também, resíduos sólidos, com riscos de contaminação para as águas subterrâneas. Os contaminantes envolvidos são difíceis de prever, já que as descargas podem ter origens diversas. São as lagoas dos Potiguares, do Preá, da PETROBRÁS e São Conrado. Estas lagoas conforme já assinalado, não apresentam conexão hidráulica direta com as águas subterrâneas, com excessão dos períodos de fortes chuvas, quando o nível d'água subterrânea se eleva e aumenta o risco de contaminação.

A rede de esgotos do Sistema Público tem seu destino final no rio Potengi, na parte norte-noroeste da área. Em alguns casos os esgotos são tratados pelo processo de lagoas de estabilização. Tem-se conhecimento ainda de um outro ponto de lançamento de esgoto "in natura" no dreno superficial do riacho do Baldo, além de descargas clandestinas no riacho das Lavadeiras e galerias pluviais.

Foram identificados 20 cacimbões transformados em fossa, constituindo verdadeiras fossas negras, com riscos efetivos para as águas subterrâneas.

Alguns poços do Sistema Público de Abastecimento d'Água não apresentam proteção sanitária e em outros casos esta proteção é inadequada, o que pode facilitar a penetração de águas contaminadas no interior dos poços, através do pré-filtro dos mesmos. É o que ocorre por exemplo com o poço P-15 da captação Dunas (anexo 9.2), que é desprovido de cimentação na parte superior do espaço anelar entre as paredes do poço e o tubo de revestimento. Os poços P-09 e P-10A da captação Felipe Camarão-Cidade Nova estão cimentados somente até os 5m iniciais, o que se considera pouco seguro como proteção (ver anexo 9.2).

5.2 - Processos de Transporte e Atenuação dos Contaminantes

O acesso de contaminantes às águas subterrâneas depende do resultado de ações naturais de defesa que se processam no meio poroso não saturado, em especial na zona biologicamente ativa do solo. Essas ações são atribuídas a interações físicas com o solo (camada insaturada) que retardam o processo de contaminação e reações químicas com os contaminantes que podem reduzir total ou parcialmente a concentração dos mesmos.

As interações físicas são produzidas graças a fenômenos de filtração mecânica, sorção e intercâmbio de ions, enquanto que as ações atenuadoras são atribuídas principalmente a reações de hidrólise, precipitação e complexação, além de transformações bioquímicas. A Fig. 5.5 ilustra a importância relativa de cada um desses processos nas zonas insaturada e saturada.

Fig. 5.5 - Resumo dos processos de atenuação de contaminantes nas águas subterrâneas (Foster & Hirata, 1991)

Os contaminantes que são dispostos na superfície do solo podem ser eliminados naturalmente e com maior facilidade do que aqueles aplicados no fundo de escavações, como é o caso de fossas, já que a camada do solo propriamente dita, é removida.

No caso de contaminantes persistentes e móveis, como os nitratos, a zona insaturada exerce pouca influência, podendo apenas aumentar o tempo de trânsito dos mesmos às águas subterrâneas (Foster *et al*, 1987 e Foster & Hirata 1991). Em situações como esta, a zona saturada é mais eficiente na redução da concentração dos contaminantes mediante o mecanismo de diluição pelas águas do fluxo subterrâneo. Todos os processos assinalados para a zona insaturada ocorrem na zona saturada, porém com uma intensidade muito menor.

5.2.1 - Interações físicas com o solo

Uma forma bastante comum de interação física com o solo é a filtração mecânica. Neste processo, as partículas em suspensão tais como silte, argilas, algas e microorganismos podem ser filtrados pelo terreno. A filtração será tanto mais eficaz quanto menor for a textura dos sedimentos e mais uniforme é a distribuição dos grãos. Neste aspecto, os terrenos siltosos e argilosos são os que exercem maior ação protetora sobre os aquíferos.

O termo sorção corresponde ao somatório de absorção e adsorção. É o processo pelo qual os contaminantes atravessam os interstícios do meio poroso e tendem a ficar aderidos à superfície do sólido por forças eletrostáticas ou ligações químicas fracas, podendo difundir-se até o interior da estrutura rochosa. Ou seja, um componente se desloca da fase líquida se acumulando na fase sólida presente, que em termos práticos de transporte de contaminantes no solo significa um retardamento com diminuição da velocidade dos contaminantes com relação às águas.

Os adsorventes mais comuns são os minerais de argila, hidróxidos de ferro e manganês, substâncias orgânicas e microorganismos. Para preservação e autopurificação das águas subterrâneas os processos de adsorção do solo e em zonas subsaturadas de um modo geral, são de primeira importância (Fenzl, 1988). A retenção dos contaminantes propiciada pela adsorção permite um maior tempo de permanência dos mesmos no terreno, o que facilita a ocorrência de outros fenômenos atenuadores como oxidação, ação bacteriana e intercâmbio de íons. O processo de adsorção de compostos orgânicos apolares em solos insaturados é analisado por Bernardes Jr (1985).

O intercâmbio iônico é uma forma de interação dos contaminantes com o solo no qual alguns íons em dissolução trocam de posição com outros que formam parte do sólido. A capacidade de adsorção de um trocador ou a capacidade de troca de uma substância, depende da intensidade das ligações dos seus íons trocáveis.

5.2.2 - Reações químicas

As reações químicas que se processam no solo e zona insaturada em geral, constituem mecanismos de defesa muito importante sobre a ação de contaminantes tanto de natureza inorgânica como orgânica. Tratando-se de contaminantes inorgânicos, como é o caso dos metais pesados, as reações podem afetar a solubilidade dos mesmos e precipitá-los, já os contaminantes orgânicos ficam sujeitos à degradação.

Os processos de precipitação afetam principalmente o Fe^{++} e Mn^{++} existente na água. Os compostos de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e $\text{Mn}(\text{OH})_3$ insolúveis podem ser produzidos em um meio oxidante com pH entre 6 e 8. Nesta precipitação facilmente são arrastados por co-precipitação muitos íons de metais pesados como os de Cu, Pb, Zn, As, W e V e, também, os ânions F^- e PO_4^- . Em zona redutora ou pouco oxidante, a geração de H_2S e S^- anaeróbio ou por decomposição, pode eliminar todos ou parte

dos ions Fe^{++} , precipitando-os como FeS , além de precipitar também outros ions metálicos pesados, associados a sulfetos muito insolúveis (Custódio & Lamas, 1976).

Os metais traços tendem a formar espécies hidrolizadas e complexos pela combinação com anions inorgânicos como HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- e NO_3^- . Em ambientes de água subterrânea contaminadas com compostos orgânicos, complexos orgânicos podem também ser importante. Nestes casos, a mobilidade dos contaminantes é alterada e também, o comportamento do meio.

As reações químicas de óxido-redução tem maiores influências na diminuição de contaminação por produtos orgânicos e nitrogenados. A simples mudança de um ambiente oxidante para um redutor pela presença de matéria orgânica sólida ou dissolvida pode solubilizar metais do ambiente, como ferro e magnésio.

As transformações bioquímicas estão associadas ao processo de óxido-redução e a degradação de muitos produtos orgânicos. Sob condições redutoras (meio anaeróbico) e com a participação de bactérias especializadas, são produzidos N_2 , H_2S e CH_4 . Em um meio oxidante, certos tipos de bactérias precipitam o Fe^{++} em forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

5.2.3 - Processo de diluição

Diluição é um processo que implica na diminuição da concentração dos contaminantes e está ligada ao fluxo subterrâneo, mecanismos de advecção e dispersão hidrodinâmica. Na advecção, há um deslocamento dos contaminantes na mesma direção dos escoamentos subterrâneos, enquanto que na dispersão (que efetivamente é o responsável pela diluição) verifica-se o espalhamento dos contaminantes com a progressiva diminuição das concentrações máximas. O processo de dispersão hidrodinâmica ocorre em associação com a difusão molecular que se refere ao

movimento aleatório das partículas (brawniano), com transferência de massa contaminante até as zonas de menor concentração.

5.2.4 - Fatores hidrogeológicos do meio insaturado

A eficácia dos processos atenuadores de contaminantes descritos está condicionada fundamentalmente à ocorrência nos terrenos de matéria orgânica e argilas e, também, maior profundidade das águas subterrâneas, o que propicia um maior tempo de trânsito das águas de percolação, oferecendo desta maneira maiores oportunidades para atenuação ou eliminação dos contaminantes. O tempo de trânsito de muitos contaminantes das águas subterrâneas pode ser avaliado a partir da lei de Darcy, que para o caso de fluxo vertical em meio não saturado é expresso pela equação:

$$V_x = \frac{k_x}{\theta} \cdot \frac{dH}{dx}, \quad \text{Onde:} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

V_x = velocidade do fluxo (m/s)

θ = conteúdo de umidade do solo (%)

H = potencial hidráulico do solo, sendo $H=h+z$

h = pressão de sucção do solo (m)

z = potencial gravitacional (m)

dH/dx = gradiente hidráulico (adimensional)

K_x = permeabilidade do terreno insaturado (m/s), que é uma função do conteúdo de umidade (θ)

É fácil deduzir que em função da pressão de sucção a equação anterior toma a seguinte forma:

$$V_x = \frac{k_x}{\theta} \left(\frac{dh}{dx} \pm 1 \right) \quad (\text{Eq. 5.2})$$

A Fig. 5.6 apresenta as curvas típicas das funções $h = f(\theta)$ e $K_x = f(\theta)$. São relações não lineares cuja análise requer determinações experimentais.

Fig.5.6 - Potencial matricial e condutividade hidráulica em função da umidade (Bogomolov et al, 1985)

Para descrever a função $K_x = f(\theta)$, Averyanove (1949) e Bogomolov *et al* (1985), sugeriram a seguinte expressão:

$$K_x = K \left(\frac{\theta - \theta_0}{\theta_M - \theta_0} \right)^a, \quad \text{onde:} \quad (\text{Eq. 5.3})$$

K = permeabilidade com o meio saturado

θ_0 = conteúdo de volume da umidade móvel

θ_M = capacidade de umidade completa.

Na maioria dos casos esta equação fornece bons valores de permeabilidade do meio insaturado para índices variando numa faixa de $3 < a < 4$. Em geral, o índice pode variar numa faixa mais extensa, com valores aumentando com a não uniformidade dos sedimentos (Bogomolov *et al*, 1985).

A pressão de sucção é medida com instrumentos denominados tensiômetros. O tensiômetro consiste de uma cápsula porosa de cerâmica, em contato com um monômetro cheio d'água como indicado na Fig. 5.7. Quando colocado no solo, a água do tensiômetro entra em contato com a água do solo através dos poros da cápsula porosa e o equilíbrio tende a estabelecer-se. A diferença de pressão é indicada no manômetro que pode ser um simples tubo em U com água ou mercúrio e indicador mecânico ou elétrico. A pressão de sucção h no solo no ponto A da cápsula é calculada pela seguinte expressão (Reichardt, 1985).

Fig. 5.7- Esquema de um tensiômetro
(Reichardt, 1985)

$$h = -12,6 h' + h_1 + h_2, \quad \text{Onde:} \quad (\text{Eq. 5.4})$$

h' = leitura em cm de Hg

h_1 = altura do monômetro com relação a superfície do solo

h_2 = profundidade da cápsula porosa com relação a superfície do solo.

O comportamento do fluxo d'água em zonas insaturadas utilizando tensiômetros foi estudado por Szikszay *et al*, 1986; Szikszay *et al*, 1987, Szikszay *et al*, 1988 e Szikszay, 1990; em uma estação experimental do Campos Universitário da USP na cidade de São Paulo. O conteúdo de umidade do solo pode ser obtido pela equação:

$$\theta = m_e \cdot u, \quad \text{Onde:} \quad (\text{Eq. 5.5})$$

m_e = massa específica aparente

u = umidade a base do peso.

O valor de u é geralmente obtido pelo método gravimétrico. Consiste na coleta de amostras e determinação dos seus pesos úmidos e seco (em estufa a 105°C por 48 horas) e calculado pela expressão:

$$u = \frac{m_e - m_s}{m_s} \cdot 100, \quad \text{Onde:} \quad (\text{Eq. 5.6})$$

m_e = peso úmido(g)

m_s = peso seco(g)

A massa específica m_e é obtida em geral com a introdução de um cilindro no solo de um volume V conhecido que é levado juntamente com o material à uma estufa a 105°C, por 48 horas, determinando a massa do sólido e calculando a massa específica pela relação $m_e = m_s/V$. Outros métodos existentes para avaliar a umidade do solo, são os métodos de resistência elétrica, raio gama e neutron. O método de resistência elétrica baseia-se no fato de que a condutividade de um solo aumenta com o aumento do conteúdo de umidade do solo. O método neutron é um método mais recente e tem sido utilizado com sucesso na determinação da umidade do solo. No curso da interação de neutrons rápidos com núcleos de átomo de pequena massa atômica, os neutrons rápidos são desacelerados. As moderações são mais fortes nos

átomos de hidrogênio. O conteúdo de hidrogênio na rede cristalina de sólidos é relativamente pequeno e o efeito de moderação dependerá predominantemente do conteúdo de água do solo.

O tempo de residência de contaminantes na zona não saturada é influenciado pelo clima e pelas cargas hidráulicas propiciadas por recargas artificiais. Em situação de clima mais úmido, com taxas de infiltração mais elevadas, o volume d'água que passa através da zona insaturada é maior, acarretando um menor tempo de transito e forte lixiviação dos contaminantes dispostos no solo e propiciando a contaminação das águas subterrâneas. Por outro lado, o processo de diluição é favorecido já que a descarga do fluxo subterrâneo será elevada, com possibilidades de redução dos contaminantes. Em regiões áridas, onde as taxas de infiltração são reduzidas, o mecanismo de lixiviação dos contaminantes é menos importante e os efeitos acumulativos de degradação dos solos são maiores, com riscos de contaminação das águas subterrâneas nos períodos de ocorrência de chuvas.

6. AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Dentre as atividades que potencialmente podem vir a contaminar as águas subterrâneas de Natal, descritas no capítulo 5, aquela que se apresenta como a mais impactante é a disposição local de efluentes domésticos mediante o uso de fossas e sumidouros. O principal tipo de contaminante envolvido é o nitrato, resultante da biodegradação dos excrementos humanos.

Neste capítulo, o estudo é voltado principalmente para avaliar a extensão das contaminações por nitratos, procurando diagnosticar sobre sua origem e mecanismos. Será considerada, também, a ocorrência nas águas subterrâneas de organismos patogênicos e metais pesados. A possível ocorrência de hidrocarbonetos e compostos orgânicos sintéticos nas águas subterrâneas não será tratada neste trabalho, já que se está dando prioridade aos contaminantes que se apresentam evidentes, ou que já tenham sido referidos em trabalhos anteriores afetando a qualidade das águas.

6.1 - Documentação de Base

No Brasil são poucas as referências sobre os impactos de sistemas de disposição local de efluentes em águas subterrâneas, merecendo destaque os estudos realizados no próprio domínio da área deste trabalho.

Estudos realizados na Área Metropolitana de Natal (IPT, 1982) constataram a ocorrência de zonas nos domínios urbanos cujas águas dos poços estavam afetadas por teores de nitrato elevado (acima de 45 mg/l ou limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde). As contaminações foram atribuídas ao processo de construção dos poços, os quais não dispunham de uma proteção sanitária adequada. Nestas condições, dentro da concepção de dois aquíferos distintos, as águas contaminadas do aquífero freático seriam conduzidas para o poço (penetrando o aquífero semi-confinado) através da coluna do pré-filtro ou encascalhamento artificial.

A ACQUA-PLAN (1988) e Figueredo (1990), apresentaram um quadro mais preocupante. Desta feita, as contaminações por nitrato atingiam um maior número de poços e inclusive unidades do Sistema Público de Abastecimento estariam afetadas. As contaminações foram consideradas puramente de caráter pontual e similarmente ao IPT (1982), o processo de contaminação ocorreria devido à falta de proteção sanitária adequada dos poços de captação.

Há, também, o registro da presença de metais pesados em concentrações anômalas nas águas de alguns poços situados em indústrias, em suas imediações ou mesmo em locais sem que tenha sido identificado a fonte contaminante (Figueredo, 1991). De acordo com esse autor a ocorrência está associada, também, a má construção dos poços e potencialização pelo fluxo subterrâneo.

A Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN) desde 1986 mantém o controle da qualidade das águas com avaliações periódicas dos compostos de nitrogênio. Até o momento três poços da captação Dunas foram desativados por terem revelado níveis de contaminação inadmissíveis. A preocupação da empresa é manter o teor de nitrato inferior a 45 mg/l nas águas dos reservatórios de distribuição, os quais em alguns casos recebem contribuições de águas de poços não afetados, poços já contaminados e de águas da Lagoa de Jiqui. Esta, situada fora da área de estudo, apresenta águas com teores de nitrato inferiores a 5mg/l, o que propicia a diluição dos contaminantes. Geralmente, os reservatórios que recebem maior quantidade de água da Lagoa de Jiqui apresentam os teores de nitrato mais baixos, como é o caso de R-6, com 2,1 mg/l. Apesar do monitoramento referido foi registrado a ocorrência de um reservatório (R-7) cujas águas revelaram um teor de 48,28 mg/l, que é exatamente o que recebe uma maior contribuição das águas contaminadas da captação Dunas. (Tab. 6.1)

Em escala internacional, a literatura também registra poucas avaliações detalhadas dos impactos de sistemas sépticos nas águas subterrâneas (Robertson, *et al*, 1991).

Tab. 6.1 - Teores de nitrato nas águas dos reservatórios de distribuição de água à população de Natal (agosto de 1994)

Melo (1995)

RESERVATÓRIO	NITRATO (mg/l)
R-1	30,12
R-2	38,98
R-3	16,39
R-4	19,93
R-5	26,58
R-6	2,21
R-7	48,28
R-9	15,50
R-10.1	2,65
R-10.2	2,65
R-11	14,17
R-12	11,51

De acordo com Hamtzsche & Finnemone (1992), a formação de nitratos na zona superior dos solos, devido às práticas de disposição local de efluentes, é de efeito potencial cumulativo.

Estudos realizados nas imediações de Milwaukee, Wisconsin, U.S.A. (Eisen & Anderson, 1979) sobre os efeitos da urbanização na qualidade das águas subterrâneas, mostraram que o cloreto, sulfeto, amônia e bactéria são os parâmetros chaves a serem considerados em um programa de monitoramento.

O cloreto é um bom indicador para detectar plumas de contaminação de sistemas sépticos, enquanto a condutividade e pH são considerados aceitáveis (Alhajjar *et al*, 1990). Esta conclusão fundamentou-se no fato de que o cloreto é conservativo e a condutividade semi conservativa, já que este parâmetro é afetado pela interação entre a solução e o solo ou aquíferos sedimentares.

Robertson *et al* (1991), mostram níveis elevados de cloreto, nitrato, sódio, cálcio, potássio, alcalinidade e carbono orgânico dissolvido e níveis baixos de pH e oxigênio dissolvido em plumas de contaminação das águas subterrâneas sob dois

pequenos sistemas septicos em aquíferos arenosos, na localidade de Cambridge, em Ontário, no Canadá.

Estudos recentes tem indicado que a capacidade dispersiva e por conseguinte a diluição potencial de contaminantes de muitos aquíferos de areia e cascalho, são muito menores do que previamente se imaginava (Robertson *et al*, 1991).

Isótopos de nitrogênio têm sido utilizados com sucesso como indicadores de fontes de nitrato nas águas subterrâneas (Komor & Anderson, 1993).

6.2 - Microorganismos Patogênicos

A matéria fecal contém microorganismos patogênicos representados por ovos de helmintos, protozoários e por bactérias e virus. Durante o processo de penetração dos efluentes no terreno esses microorganismos são eliminados total ou parcialmente pelos fenômenos de filtração e adsorção. A eficácia desta purificação, como já foi discutido no capítulo 5., depende fundamentalmente das características do meio não saturado com relação a sua litologia e profundidade das águas subterrâneas.

Os helmintos e protozoários são de dimensões relativamente grandes (superior a 25 micros), sendo facilmente filtrados através do solo e geralmente não oferecem riscos para as águas subterrâneas. As bactérias e virus por serem muito pequenos podem ser transportados, através da percolação dos efluentes, desde os sistemas sanitários locais até as águas subterrâneas, contaminando-as e pondo em risco a saúde da população que as consume. Isto, entretanto, só ocorre em função da vulnerabilidade do sistema aquífero no qual prevaleçam condições de terrenos predominantemente arenosos e nível d'água raso. No caso de terrenos argilosos e nível d'água profundo o tempo de permanência dos efluentes na zona não saturada é muito maior, propiciando desta feita as ações efetivas de eliminação dos contaminantes. Tem-se verificado que em geral o risco de contaminação de origem fecal da água subterrânea

é mínimo quando a espessura dos substratos não saturados abaixo da base das fossas é superior a 2m ou quando as cargas hidráulicas que provém destes sistemas de deposição local de efluentes não excedem 30mm/dia e as partículas do solo são inferiores a 1mm. (Lewis *et al*, 1988).

Os vírus são potencialmente mais perigosos que as bactérias, já que são muito menores e há referência de que sua presença em pequenas concentrações basta para causar enfermidades infecciosas. A eliminação desses microorganismos depende quase totalmente da adsorção que se produzem sobre argilas (Lewis *et al*, 1988). Segundo Custódio (1976), as bactérias seguem as linhas de escoamento de fluxo subterrâneo e a eliminação das mesmas com a distância é uma função de capacidade de filtração do aquífero. Em condições favoráveis, as bactérias podem sobreviver até 5 anos, porém em geral morrem antes de 60 ou 100 dias (Custódio & LLamas, 1976). Entre os fatores que mais influem no controle da sobrevivência das bactérias no solo convém destacar a umidade e a temperatura.

O comportamento dos virus quanto a sua sobrevivência nas águas de infiltração é similar aos das bactérias, embora alguns tipos sejam mais resistentes.

Os indicadores de contaminação mais comumente utilizados são os coliformes, principalmente o grupo dos coliformes fecais (C.F.) e estreptococos fecais (E.F.). Os coliformes fecais tem sido reconhecidos como os mais eficazes na avaliação da qualidade bacteriológica das águas. Os guias da Organização Mundial de Saude (OMS) recomendam atualmente que a água para ser considerada potável deve ser isenta de bactérias indicadoras de coliformes fecais (CF) em qualquer amostra de 100ml. Os coliformes totais (CT) tem sido utilizados como indicadores das condições de higiene (Martins *et al*, 1991). A Tab. 6.2 apresenta os resultados das análises de coliformes totais de amostras d'água de 20 poços em três campanhas de amostragem nos meses de janeiro, fevereiro e março de 1994. Foram detectados a presença de colonias de bactérias coliformes totais apenas no poço 171 (2400 colônias), que é uma unidade de captação abandonada situada no Centro Urbano de Natal.

Tab. 6.2 - Resultados dos coliformes totais (CT) de análises bacteriológicas de águas de poços em Natal - NMP/100ml de amostra.

Melo (1995)

POÇO	LOCALIZAÇÃO/ PROCEDÊNCIA	DATA	COLIFORMES TOTAIS (CT)
156	Confecções Alpargatas	01/02/94	negativo
		28/02/94	negativo
		22/03/94	negativo
129	Confecções Guararapes	01/02/94	negativo
		28/02/94	negativo
		22/03/94	negativo
03	Ponta Negra	01/02/94	negativo
		28/02/94	negativo
		22/03/94	negativo
68	Dunas (P-054)	01/02/94	negativo
		28/02/94	negativo
		22/03/94	negativo
96	Captação Lagoa Nova II (P-11)	01/02/94	negativo
		28/02/94	negativo
		22/03/94	negativo
150	Confecções SAAB	01/02/94	negativo
		28/02/94	negativo
		22/03/94	negativo
85	Lagoa Nova I (P-12)	01/02/94	negativo
		28/02/94	negativo
		15/03/94	negativo
181	Casa de Saúde Natal	07/02/94	negativo
		07/03/94	negativo
		28/03/94	negativo
149	Posto Natal	07/02/94	negativo
		07/03/94	negativo
		28/03/94	negativo
123	Motel Deville	07/02/94	negativo
		07/03/94	negativo
		28/03/94	negativo
167	Posto 1003	07/02/94	negativo
		07/03/94	negativo
		28/03/94	negativo

POÇO	LOCALIZAÇÃO/ PROCEDÊNCIA	DATA	COLIFORMES TOTAIS (CT)
75	Captação Dunas (P-12)	07/02/94	negativo
		07/03/94	negativo
		28/03/94	negativo
74	Captação Dunas (P-11A)	24/01/94	negativo
		21/02/94	negativo
		15/03/94	negativo
110	Clube da TELERN	24/01/94	negativo
		21/02/94	negativo
		15/03/94	negativo
107	FEBEM	24/01/94	negativo
		21/02/94	negativo
		15/03/94	negativo
158	SORIEDEM	24/01/94	negativo
		21/02/94	negativo
		15/03/94	negativo
182	SIPROFAR	24/01/94	negativo
		21/02/94	negativo
		15/03/94	negativo
179	Policlínica	28/02/94	negativo
		22/03/94	negativo
171	R-4 (P-1)	07/02/94	2.400
54	Cap. Novo Campo (P-08)	16/05/94	negativo
88	Cap. L. Nova II (P-08)	16/05/94	negativo
23	Cap. Cid. Satélite (P-01)	16/05/94	negativo
64	Cap. Dunas (P-01A)	16/05/94	negativo
67	Cap. Dunas (P-4A)	16/05/94	negativo
33	Cap. Fel. Camarão (P-4A)	16/05/94	25
30	Cap. Fel. Camarão (P-1)	16/05/94	negativo
09	Cap. Piragi (P-2)	16/05/94	negativo
04	Cap. Pta. Negra (P-4)	16/05/94	negativo
47	Novo Campo	16/05/94	negativo

Os poços do Sistema Público de Abastecimento (Tab. 6.3), em geral não apresentam contaminação bacteriológica, tendo sido verificado tão somente a ocorrência de 25 colônias de bactérias coliformes totais na unidade de captação P-4A de Felipe Camarão.

Tab. 6.3 - Resultados dos coliformes totais (CT) de análises bacteriológicas de águas de poços do Sistema Público de Abastecimento de Natal - NMP/100ml de amostra (16/05/1994).

Melo (1995)

POÇO N°	CAPTAÇÃO	CT (NMP/100ml amostra)
33	Felipe Camarão (P-04A)	25
30	Felipe Camarão (P-01)	negativo
09	Pirangi (P-02)	negativo
04	Ponta Negra (P-04)	negativo
47	Novo Campo (P-01)	negativo
54	Novo Campo (P-08)	negativo
88	Lagoa Nova II (P-01)	negativo
23	Cidade Satélite (P-07)	negativo
64	Dunas (P-01A)	negativo
67	Dunas (P-04A)	negativo

A Tab. 6.4 contém os resultados das análises bacteriológicas de uma amostragem em 10 poços, executada em maio de 1994. A unidade C-02 revelou-se contaminada com a presença de coliformes fecais. Trata-se de um poço raso, tipo cacimbão, abandonado e localizado na Vila Ponta Negra. Coliformes fecais foram também detectados nos poços 106 e 161.

Tab. 6.4 - Resultado de análises bacteriológicas de águas de poços em Natal para coliformes totais (CT) e coliformes fecais (CF) - 31/05/1994

Melo (1995)

POÇO	LOCALIZAÇÃO/ PROCEDÊNCIA	CT	CF
		NMP/100ml de amostra	
C-02	Vila Ponta Negra	16.000	9.600
82	Lagoa Nova I (P-5A)	negativo	negativo
180	Floricultura Marina	negativo	negativo
101	Viação Nordeste	150	negativo
100	Rodoviária Nova	negativo	negativo
106	Av. Cap. M. Gouveia, 555	500	12
109	Auto Viação Q. e M.	1.100	negativo
161	Clube Taxistas	950	120
152	Ind. Simas	320	negativo
104	Ref. Dore	negativo	negativo

6.3 - Os Compostos Nitrogenados

6.3.1 - A formação dos compostos nitrogenados

O nitrogênio ocorre principalmente na atmosfera, nos solos e em substâncias orgânicas. Na litosfera o nitrogênio é um elemento pouco representado e se encontra sobretudo nas argilas e rochas argilosas (600mg/kg). Nas precipitações pluviométricas a concentração de nitrogênio na forma de amônio (NH_4^+), varia de 0,01 a 1,00 mg/l, e os teores de nitrato (NO_3^-) estão na faixa de 0,30 a 2,50 mg/l, podendo atingir até 12,00 mg/l (Schoeller, 1962 e Fenzl, 1988).

Nas águas subterrâneas não contaminadas, o nitrogênio na forma de nitrato é em geral inferior a 10,00 mg/l. O amônio é pouco representado nas águas subterrâneas e sua ocorrência com teores superiores a 0,50 mg/l já indica uma contaminação (Custódio & LLamas, 1976). O nitrato existente nas águas subterrâneas pode originar-se da atmosfera, de esgotos dispostos sobre e sob a superfície do solo, de atividades agrícolas (fertilizantes minerais) e de resíduos vegetais (Fig. 6.1).

A matéria orgânica existente nos esgotos e nos resíduos vegetais produzem amoníaco ou amônia através do processo de decomposição e mediante a participação de bactérias especializadas, de acordo com a reação:

A formação do íon amônio (NH_4^+) ou do amoníaco (NH_3) está condicionada ao pH da água, obedecendo à seguinte reação:

Fig.6.1-Fontes e caminhos do nitrogênio no ambiente sub-superficial
(Freeze & Cherry, 1979).

A reação produz NH_4^+ se o pH da água diminui, ou NH_3 no caso contrário (Fig. 6.2). O processo de conversão do nitrogênio orgânico para NH_4^+ é conhecido como amonificação.

O composto liberado tanto pode ser adsorvido pelo solo e usado pela planta como nutriente como também pode ser oxidado biologicamente por bactérias para

Fig.6.2 - Equilíbrio amônio-amoniaco em função do pH (Fenzl, 1988)

formar nitritos e posteriormente nitratos que chegam às águas subterrâneas. O fenômeno é conhecido como nitrificação e processa-se mediante as reações:

A formação de nitritos é mediada pelas bactérias do grupo nitrosomonas e a formação de nitratos requer a participação de bactérias do grupo nitrobacter.

A amonificação e nitrificação são processos que normalmente ocorrem na zona insaturada, principalmente na zona do solo propriamente dito, onde a matéria orgânica e o oxigênio são abundantes (Freeze and Cheery, 1979; Stum & Morgon, 1981; Komor & Anderson, 1993).

Os fertilizantes minerais contém nitrato que penetra no terreno e é lixiviado para as águas subterrâneas. Este, constitui o caso de contaminação direta por nitrato.

Com relação ao nitrogênio atmosférico, uma parte se transforma por ação bacteriana e se incorpora a organismos vivos no solo. Este processo se denomina fixação do nitrogênio e se estima que são gerados globalmente uns 150 milhões de toneladas de nitrogênio fixo por ano (OPS e OMS, 1980). O amoníaco produzido pela fixação biológica se converte seguidamente para nitrito e nitrato pelo já conhecido processo de nitrificação.

Os nitratos, tanto aqueles de contaminação direta, como os oriundos das transformações bioquímicas sob condições anaeróbicas e presença de matéria orgânica, podem ser reduzidos a amônio (NH_4^+) e nitrogênio (N_2) através do processo de desnitrificação, sempre com a participação de bactérias especializadas. A reação química que produz o nitrogênio mediante este processo é a seguinte:

A desnitrificação geralmente ocorre abaixo do nível d'água, sob condições de deficiência de oxigênio. Do ponto de vista de qualidade das águas subterrâneas, a desnitrificação é um processo desejável conforme será discutido posteriormente.

A Tab. 6.5, apresenta resultados de análises de compostos da série nitrogenada de águas de 34 poços da área de Natal, coletadas em épocas distintas. Os dados mais antigos, anteriores a 1994, foram obtidos de ACQUA-PLAN (1988). Na maioria dos casos o nitrogênio atingiu a sua fase mais estável, que é o nitrato. Este ocorre em geral com concentrações acima do seu nível de base de 10,00 mg/l, atingindo 100,00 mg/l (poço 107, em 24/01/94), enquanto o amônio e o nitrito são pouco representados ou não foram identificados. A única ocorrência diferenciada que merece ser citada é o caso do poço 71 (P-8, da captação Dunas), no qual as informações de abril de 1988 indicam um teor de amônio de 6,23 mg/l e ausência de íons nitrato, sugerindo uma contaminação recente que ainda não havia sofrido oxidação. Esses resultados mostram que o nitrato e o íon amônio são incompatíveis em concentrações elevadas.

Tab. 6.5 - Compostos nitrogenados nas águas subterrâneas de Natal (valores em mg/l)

Melo (1995)

POÇOS	LOCAL./ PROCEDÊNCIA	DATA	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DATA	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
104	Ref. Dore	09/05/88	0,00	0,02	63,04	24/01/94	0,25	0,01	86,42
110	Clube TELERN	27/11/86	0,00	0,00	14,23	24/01/94	0,0	0,00	16,51
111	Viação Nordeste	-	-	-	-	24.01.94	0,00	0,00	33,33
109	Queiroz e Melo	-	-	-	-	24/01/94	0,01	0,00	51,16
107	FEBEM	09/05/88	0,00	-	46,88	24/01/94	0,0	0,00	100,00
106	Av. Cap.M. Gouveia. 555	11/06/87	0,00	0,00	41,79	24/01/94	0,0	0,00	82,10
100	Rodoviária Nova	14/01/87	0,00	< 0,01	29,25	24/01/94	0,04	0,00	52,08
182	SIPROFAM	-	-	-	-	24/01/94	0,0	0,00	98,46
74	Cap. Dunas	04/88	-	0,0	44,30	24/01/94	0,04	0,00	48,15
158	SORIEDEM	26/01/87	0,00	< 0,01	24,37	24/01/94	0,02	0,00	46,76
68	Cap.Dunas/Morro Branco	08/07/88	0,00	0,00	37,43	01/02/94	0,0	0,00	44,32
96	Cap. L. Nova II (P-11)	05/04/88	0,5	0,00	21,99	01/02/94	0,0	0,00	29,00
3	Cap. Ponta Negra	-	-	-	-	01/02/94	0,01	0,00	8,90
156	Alpargatas	27/01/87	0,00	< 0,01	4,22	01/02/94	0,01	0,00	11,83
152	SIMAS	-	-	-	-	01/02/94	0,31	0,04	56,39
150	S.A.A.B.	-	-	-	-	01/02/94	0,0	0,00	89,26
129	Conf. Guararapes	29/01/87	0,00	0,00	39,62	01/02/94	0,0	0,00	67,79
75	Cap. Dunas/Bosque	04/88	-	0,00	28,80	07/02/94	0,08	0,00	40,41
181	Casa de Saúde Natal	-	-	-	-	07/02/94	0,0	0,00	29,56
180	Floricultura Marina	-	-	-	-	07/02/94	0,08	0,00	49,41
161	Clube dos Taxistas	-	-	-	-	07/02/94	0,12	0,00	3,66
171	Reservatório 4 (Nº5)	-	-	-	-	08/02/94	0,02	0,00	160,79
149	Posto Natal (Nº 6)	-	-	-	-	08/02/94	0,0	0,00	147,58
123	Motel Deville (Nº 7)	-	-	-	-	08/02/94	0,03	0,00	1,85
167	Posto 1003	-	-	-	-	08/02/94	0,0	0,00	87,42
105	Jossan	02/05/88	0,00	-	68,82	08/02/94	0,0	0,02	50,66
71	Cap. Dunas (P-8)	05/04/88	6,23	0,04	0,00	-	-	-	-
74	Cap. Dunas (P-11)	-	-	-	-	02/02/94	0,0	0,00	-43,94
33	Felipe Camarão	-	-	-	-	16/05/94	0,0	0,00	2,20
04	Cap. P. Negra (P-4)	-	-	-	-	16/05/94	0,0	0,00	31,00
47	Cap. N. Campo (P-1)	-	-	-	-	16/05/94	0,0	0,00	18,60
54	Cap. N. Campo (P-8)	-	-	-	-	16/05/94	0,0	0,00	46,60
88	L. Nova II (P-01)	-	-	-	-	16/05/94	0,0	0,00	46,5
67	Dunas (P-4A)	-	-	-	-	16/05/94	0,0	0,00	72,2

6.3.2 - Efeitos nocivos à saúde pela ingestão de nitratos

O uso de águas com concentrações elevadas de nitrato podem afetar a saúde das pessoas, em especial as crianças. A Organização Mundial de Saúde (OMS),

estabelece um limite máximo de 45 mg/l de nitrato para o consumo humano (ver Tab. 4.1).

Dentre as enfermidades, cuja origem tem relação com as águas que contém elevadas concentrações de nitrato, convém destacar a metahemoglobinemia que afeta principalmente as crianças na faixa etária de 0 a 6 meses e, em especial, nos primeiros 3 meses de vida. Esta enfermidade provoca a anoxia celular (privação de oxigênio) ou até mesmo a morte caso não haja um tratamento adequado.

As restrições atribuídas ao íon nitrato se dá pela sua facilidade de reduzir-se a nitrito em condições favoráveis na saliva e estômago. O íon nitrito absorvido pelo sistema gastrointestinal reage com a hemoglobina, oxidando o ferro de suas moléculas e transformando de ferroso (Fe^{2+}) a férrico (Fe^{3+}). O resultado é a metahemoglobina que, no adulto, se converte rapidamente em oxihemoglobina pela ação de sistemas redutores como a NADH - metahomoglobina redutora (OPS e OMS, 1980). Este sistema enzimático não está completamente desenvolvido em lactantes de até 3 meses de idade. Nestas condições, pode haver aumento no volume da metahomoglobina formada, que se torna incapaz de transportar o oxigênio às células e o resultado é o processo clínico característico, a metahemoglobinemia.

Um outro tipo de enfermidade que tem preocupado alguns pesquisadores e médicos, mormente nos últimos anos, é o risco de desenvolvimento de câncer gástrico, pela ingestão de grandes quantidades de nitratos nas águas. Não se dispõe ainda de informações concretas com relação a este problema.

6.3.3 - Distribuição espacial, origem e mecanismos de contaminação das águas subterrâneas de Natal por nitratos

A Fig. 6.3 apresenta as curvas interpretativas de iso-concentração de valores de nitratos. Foram obtidas pela interpolação dos teores de nitrato de águas de

Fig.6.3-Curvas de iso-concentração de nitrato nas águas subterrâneas (Fevereiro 1993)

Melo (1995)

LEGENDA

ALUVIÕES E MANGUES

DUNAS MAIS RECENTES E ATUAIS

DUNAS MAIS ANTIGAS E RETRABALHADAS

SEDIMENTOS BARREIRAS

—20— CURVA DE ISO-CONCENTRAÇÃO DE NITRATO E SEU VALOR (mg/l)

—10— CURVA DE BASE DE ISO-CONCENTRAÇÃO DE NITRATO

o POÇO DE AMOSTRAGEM

→ DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO

ZONA DE BAIXA DENSIDADE POPULACIONAL (<100 hab/ha)

ZONA DE MÉDIA A ALTA DENSIDADE POPULACIONAL (100 a >200 hab/ha)

poços rasos (cacimbões) e profundos (poços tubulares), obtidos no período de dezembro de 1992 a março de 1993. De um modo geral existe uma correlação entre a densidade populacional e os níveis de nitrato nas águas subterrâneas. Provavelmente a oxidação dos amoníacos das descargas dos tanques septicos é o principal responsável pela elevada concentração de nitrato nas águas subterrâneas.

No setor sul e sudoeste da área, onde a densidade populacional é baixa (inferior a 100 hab/ha) as águas são de excelente qualidade química, com teores de nitrato inferiores ao nível geral de base (curva de 10 mg/l). A medida que se desloca para os setores mais habitados ao norte, os teores de nitrato tendem a crescer.

No bairro Cidade Satélite observa-se a evolução nas concentrações de nitrato que atingem a níveis próximos de 20 mg/l, ultrapassando este valor em Pirangi (Fig. 6.4). Neste caso, um outro fator deve ser levado em consideração que é o tempo

Fig. 6.4 - Teores de nitrato nos bairros Cidade Satélite e Pirangi (Fev./1993)

de implantação e funcionamento das atividades urbanas. Nos setores mais novos, os teores de nitrato tendem a ser mais baixos ou ainda não influenciados pelas ações potencialmente impactantes. Situação similar é verificada em Ponta Negra, onde os teores de nitrato crescem de menos de 10 mg/l para 40 mg/l em direção as zonas reconhecidamente mais habitadas. Em direção a Cidade Nova e Cidade da Esperança (setor oeste), bairros de elevada densidade populacional, os teores de nitrato evoluem para mais de 100 mg/l.

No setor centro leste da área, bairros de Morro Branco e Tirol, onde está implantada a bateria de poços tubulares da captação Dunas, as concentrações de nitrato estão situados entre 40 e 60 mg/l, com ocorrência localizada de mais de 80 mg/l (no poço p-4, foi registrado 97,4 mg/l. Fig. 6.5). Em Morro Branco a densidade populacional é elevada (ocorrem faixas com mais de 200 hab/ha). Neste caso, a contaminação deve se processar principalmente pela oxidação dos amoníacos produzidos pelas fossas locais, além de uma possível influência da lagoa dos Potiguares e do Preá que recebem esgotos clandestinos e de cacimbões transformados em fossas (contaminação direta), conforme mostra a Fig. 6.5. No Bosque dos Namorados (Bairro do Tirol) a ocupação do terreno é mínima. Tudo leva a crer que as contaminações são potencializadas pelo fluxo subterrâneo oriundo de uma área contaminada, situada mais a oeste, cujos teores de nitrato são superiores a 80 mg/l (Fig. 6.6). Conforme pode ser observado nesta figura, há uma diminuição dos teores de nitrato no sentido do fluxo subterrâneo, através do processo de diluição por dispersão hidrodinâmica. As águas chegam próximo ao mar em suas condições naturais, em termos qualitativos, auxiliadas também pela recarga preferencial no domínio do Parque das Dunas.

Observa-se no mapa de iso-concentração de nitratos (Fig. 6.3), a presença de picos anômalos (curvas isoladas de elevada concentração de nitrato), resultado de contaminações locais, em geral atribuídos à fontes pontuais de contaminação, tais como sumidouros de disposição de efluentes industriais.

Fig. 6.5 - Contaminação das águas subterrâneas por nitrato na área de Captação Dunas no bairro Morro Branco (Fevereiro 1993)

- 50— Curva de iso-concentração de nitrato e o seu valor em mg/l
- ✦ Poço tubular com o seu nº de ordem e teor de nitrato em mg/l
- Lagoa com lançamento de esgotos
- Lagoa intermitente
- Cacimbão transformado em fossa
- Cacimbão
- ➔ Direção do fluxo d'água subterrânea

O setor norte da cidade dispõe de uma rede de esgotamento sanitário, entretanto, em grande parte de seu domínio os teores de nitrato nas águas subterrâneas continuam elevados ou até mesmo crescentes ao longo do tempo, notadamente nos bairros mais antigos e de elevada densidade populacional como os do Tirol, Alecrim e Cidade da esperança. A explicação para o fato fundamenta-se nas considerações a seguir:

Fig. 6.6-Contaminação das águas subterrâneas por nitrato na área de Captação Dunas no bairro do Tirol. (Fev./1993)

Melo (1995)

- 80 — Curva de isoconcentração de nitrato e o seu valor em mg/l
- ☆ Poço tubular com seu nº de ordem
- ➔ Direção do fluxo d'água subterrânea

1) A rede de esgotos é heterogênea quanto ao tempo de instalação dos ramais. Em alguns setores a rede é relativamente recente (partes de Morro Branco e Tirol), com pouco mais de 5 anos, enquanto em outros a rede foi instalada a mais de 40 anos, como é o caso do principal centro comercial da Cidade e Bairro do Alecrim. Esperava-se que nestes setores houvesse uma melhoria na qualidade das águas através do processo de diluição com as águas do fluxo subterrâneo e lixiviação dos solos pelas águas de infiltração, já que as atividades de disposição local de efluentes foram substancialmente reduzidas. Entretanto, verificou-se o contrário. O tempo de instalação dos ramais parece não estar influenciando no processo de depuração natural dos solos e águas subterrâneas afetadas pelos excrementos humanos. Isto evidencia o caráter cumulativo e provavelmente irreversível do processo de contaminação.

2) A elevada taxa de ocupação do setor norte, com edificações e pavimentações, reduz a taxa de recarga das águas subterrâneas naquele setor (Fig. 3.6, capítulo 3), afetando o fluxo subterrâneo e provavelmente influenciando no processo de diluição dos contaminantes.

3) Há referências sobre a existência de fugas na rede de esgotos com a consequente contaminação das águas subterrâneas. É o que se verificou na Base Naval no Bairro do Alecrim, onde os teores de nitrato nas águas dos poços atingiram mais de 180 mg/l.

4) Existem estabelecimentos residenciais e comerciais, assim como oficinas e indústrias, que não foram integrados ao sistema de rede de esgotos e continuam utilizando fossas e sumidouros (ver mapa das fontes potenciais de contaminação, Fig. 5.2).

Com o objetivo de se ter uma visão da magnitude das contaminações das águas subterrâneas foi elaborado um mapa com o zoneamento dos teores de nitrato (Fig. 6.7). Foram definidas cinco zonas características. Aquelas com faixas acima de 60 mg/l já abrangem uma extensão bastante expressiva, correspondente a quase 1/4 da zona urbana (excluídos o Parque das Dunas e as dunas elevadas do setor sul-sudoeste).

6.3.4 - Relação do íon nitrato com a condutividade elétrica pH e outros componentes hidroquímicos fundamentais.

O íon nitrato, como se sabe, é o componente iônico dominante nas águas subterrâneas de Natal afetadas pelas atividades urbanas atribuídas ao sistema de disposição local de efluentes. O caráter de salinidade das águas (expresso em unidades de condutividade elétrica específica) em função das variações nos teores de nitrato, como também as relações deste íon com o pH e com os componentes iônicos

Fig. 6.7- Zoneamento dos teores de nitrato nas águas subterrâneas (Fevereiro 1993)

Melo (1995)

LEGENDA

	ALUVIÕES E MANGUES		CURVA DE ISO-VALORES DE NITRATO
	DUNAS MAIS RECENTES E ATUAIS		CURVA DE BASE DE ISO-VALORES DE NITRATO
	DUNAS MAIS ANTIGAS E RETRABALHADAS		POÇO DE AMOSTRAGEM
	SEDIMENTOS BARREIRAS		0 20 40 60 80 mg/l de NO ₃
	DIREÇÃO DE FLUXO SUBTERRÂNEO		

fundamentais das águas, são apresentados com base nas correlações hidroquímicas das Figs. 6.8 e 6.9.

Fig. 6.8 - Correlação do ion nitrato com outros parâmetros hidroquímicos nas águas de poços tubulares (Fevereiro 1994)

Melo (1995)

Fig. 6.9 - Correlação do ion nitrato com outros parâmetros hidroquímicos nas águas de cacimbões (Dezembro 1992 a Março 1993)

Melo (1995)

A condutividade elétrica das águas dos poços tubulares apresenta uma boa correlação com o ion nitrato, o que corresponde dizer que a salinidade das águas aumenta proporcionalmente com o aumento da concentração deste ion. O comportamento da condutividade em termos de distribuição espacial no âmbito da área também apresenta similaridade, em linhas gerais, com o nitrato. As zonas de maior densidade populacional e mais afetadas por teores de nitrato elevados correspondem exatamente àquelas com águas de maior salinidade (ou mais precisamente maior condutividade elétrica). Os valores de condutividade, na parte sul-sudeste da área, não afetados pelas cargas contaminantes urbanas ou por nitratos elevados, são inferiores a 100 $\mu\text{s/cm}$, constituindo esta, portanto, o valor da curva de base. Nos setores mais afetados por nitrato, a condutividade atinge mais de 500 $\mu\text{s/cm}$. (Fig. 6.10).

Existe, também, uma boa correlação dos ions sódio e cloreto com o ion nitrato nas águas dos poços tubulares (Fig. 6.8), o que indica que esses elementos tal como a condutividade são também bons indicadores de plumas de contaminação por efluentes urbanos. Os ions potássio, magnésio e cálcio, apesar de não apresentarem uma boa correlação mostram uma certa tendência a crescimento à medida que a concentração de nitrato aumenta.

Nas águas dos cacimbões, em geral não obteve-se uma boa correlação do nitrato com a condutividade e o clôreto. Existe uma nuvem de pontos descaracterizando a boa correlação (Fig. 6.9), principalmente no caso da condutividade das águas dos cacimbões situados nos setores de baixa densidade populacional e não afetados ou pouco influenciados pelas cargas contaminantes.

Quanto ao pH (Fig. 6.8 e Fig. 6.9), este variou numa faixa muito pequena de acordo com o aumento nos teores de nitrato, sem qualquer tendência a crescimento ou diminuição.

Fig. 6.10 - Condutividade elétrica das águas subterrâneas (Fevereiro 1993)

6.3.5 - Comportamento dos teores de nitrato nas águas subterrâneas de Natal com o tempo

Os teores de nitrato nas águas subterrâneas de Natal sofrem modificações ao longo do tempo e, em geral, essas variações tendem a ser crescentes.

As águas dos poços do Sistema Público de Abastecimento (33 unidades amostradas), em geral, apresentaram teores de nitrato mais elevados no ano de 1993 que os anos da década de 1980 (Tab. 6.6).

No caso dos poços particulares, de 35 unidades amostradas, na maioria deles (72%) houve um incremento nos teores de nitrato entre os anos 1987 (ou 1988) e 1994. Em 27% dos poços (10 unidades) verificou-se uma melhoria na qualidade das águas (Tab. 6.7).

Os poços da captação Dunas (Tab. 6.6) em 1988 apresentaram água com concentração de nitrato, em geral, abaixo do limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para uma água potável ou seja 45,00 mg/l. Apenas as unidades P-6(69) e P-7(70) revelaram valores pouco acima deste limite, que foram de 46,65 e 48,87 mg/l, respectivamente. Os poços da captação Dunas com dados de 1993 (Fig. 6.6), em sua maioria já indicam um nível de contaminação elevado das águas, cujos teores de nitrato são superiores a 45,00 mg/l, atingindo 97,40 mg/l na unidade P-4(67).

As águas dos poços situados em bairros relativamente novos e de baixa densidade populacional, como é o caso de Cidade Satélite e Ponta Negra, embora não estejam contaminadas já mostram uma tendência ao crescimento dos teores de nitrato por influência provavelmente do sistema de disposição local e efluentes (Fig. 6.11).

Tab. 6.7 - Teores de nitrato nas águas de poços particulares em duas diferentes épocas

Melo (1995)

POÇO	DATA	NO ₃ (mg/l)	DATA	NO ₃ (mg/l)
97	30.03.87	18,57	16.08.93	22,5
98	30.03.87	28,46	16.08.93	28,7
99	20.01.87	5,49	16.08.93	7,0
100	14.01.87	29,25	12.08.93	59,8
101	05.12.86	88,53	12.08.93	30,1
112	20.01.87	17,86	16.08.93	15,0
103	03.03.88	5,10	16.08.93	23,0
104	09.05.88	63,04	16.08.93	203,7
105	14.01.87	29,25	17.08.93	11,5
106	11.06.87	41,79	17.08.93	78,4
107	09.05.88	46,88	17.08.93	110,7
108	14.01.87	25,30	17.08.93	72,2
109	11.06.87	33,20	17.08.93	62,0
110	27.11.86	14,23	17.08.93	15,1
111	15.01.87	1,36	17.08.93	4,1
112	15.01.87	3,32	17.08.93	15,0
113	29.01.87	14,53	18.08.93	31,0
114	28.04.87	11,07	18.08.93	22,5
115	09.06.87	101,77	18.08.93	88,6
117	12.01.87	178,65	20.08.93	94,8
119	29.01.87	21,93	20.08.93	32,3
120	12.02.87	17,39	20.08.93	32,3
121	23.03.88	10,0	20.08.93	12,4
124	18.02.86	11,31	20.08.93	13,7
125	12.02.87	118,04	21.08.93	137,3
127	20.01.87	23,71	21.08.93	21,7
128	16.01.87	86,94	21.08.93	88,6
129	29.01.87	39,62	28.08.93	97,4
130	29.01.87	37,85	28.08.93	62,0
131	22.12.86	37,83	28.08.93	53,1
132	23.03.88	1,20	28.08.93	3,1
133	23.03.88	48,0	28.08.93	55,3
134	23.03.88	18,8	28.08.93	27,9
135	19.05.86	2,05	28.08.93	3,9
136	23.03.88	3,10	28.08.93	4,8
137	23.03.88	4,40	28.08.93	7,9
138	18.02.86	2,32	28.08.93	20,8
139	15.07.86	7,38	28.08.93	13,7
144	09.05.88	36,08	12.09.93	30,1
145	20.04.88	72,08	12.09.93	12,4
147	29.01.87	40,28	12.09.93	17,7
	14.03.88	27,39	12.09.93	16,8
157	27.01.87	4,22	12.09.93	5,3
158	26.01.87	24,37	12.08.93	55,3
169	15.01.87	37,15	12.09.93	55,3

Fig. 6.11 - Tendência da evolução dos teores de nitrato com o tempo nas águas de poços das Captações Dunas e Cidade Satélite.

Melo (1996)

Os registros sucessivos dos teores de nitrato nas águas dos poços P-3A(66) e P-5(68) da captação Dunas (Fig. 6.12) mostram que a qualidade das águas subterrâneas se deteriora progressivamente ao longo do tempo, apesar das flutuações verificadas nas concentrações deste íon. Estas flutuações podem estar associadas a alterações no caráter de diluição dos contaminantes pelas águas de infiltração e fluxo subterrâneo, mediante modificações nas condições de lixiviação dos solos e recarga das águas subterrâneas por influência do regime pluviométrico. Um outro fator que pode estar concorrendo para essas flutuações nos teores de nitrato nas águas subterrâneas é a mistura de águas com diferentes concentrações deste íon durante o bombeamento dos poços.

De duas campanhas de amostragem d'água em 8 poços, uma delas na estação chuvosa e a outra no período de estiagem (Tab.6.8) verificou-se que em cinco poços houve uma melhoria na qualidade das águas após o período chuvoso. Em três

unidades constatou-se o contrário, ou seja, as águas ficaram mais enriquecidas em nitrato.

Fig. 6.12 - Tendência da evolução dos teores de nitrato com o tempo nas águas dos poços P3A e P5 da Captação Dunas

Melo (1995)

Tab. 6.8 - Teores de nitrato em águas de poços tubulares na estação seca e chuvosa

Melo (1995)

POÇO	LOCALIDADE	DATA (PERÍODO SECO)	NITRATO NO ₃ (mg/l)	DATA (PERÍODO CHUVOSO)	NITRATO NO ₃ (mg/l)
79	Captação Dunas	26.07.93	48,2	06.06.94	42,0
69	Captação Dunas	09.08.93	53,1	06.06.94	32,3
95	Captação Lagoa Nova II	11.08.93	20,8	06.06.94	17,7
162	Natal Shopping Center	30.08.93	72,2	07.06.94	97,4
168	Posto Brilhantão	30.08.93	110,7	07.06.94	119,6
116	Posto Jota Flôr	20.08.93	78,4	07.06.94	55,3
63	Captação Novo Campo	30.08.93	44,3	07.06.94	53,1
128	Hotel Tirol	23.08.93	88,6	07.06.94	68,6

6.4 - Metais Pesados

6.4.1 - Comportamento geoquímico dos metais pesados

Os metais pesados correspondem a elementos cuja densidade é superior a 5g/cm^3 . Fazem parte do grupo de elementos conhecidos como metais traços. Designação esta devido à baixa concentração desses metais nas águas subterrâneas, geralmente inferior a 1mg/l . Estão incluídos arsênio(As), cádmio(Cd), cromo(Cr), cobre(Cu), mercúrio (Hg), chumbo(Pb) e zinco(Zn). Embora esses elementos representem apenas uma pequena parcela do total de sólidos dissolvidos nas águas subterrâneas, sua presença em concentrações acima dos limites estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, pode afetar consideravelmente a saúde humana.

A baixa concentração dos metais pesados perigosos nas águas subterrâneas é atribuída em grande parte a baixa mobilidade geoquímica desses elementos no meio aquoso sub-superficial, devido sobretudo a tendência dos mesmos em formarem precipitados (hidróxidos). Tomando o chumbo como exemplo, os materiais minerais que podem dar origem a íons dissolvidos de Pb e precipitados incluem os sulfetos: PbS, ZnS, CdS, HgS, NiS.

Os sulfetos em geral possuem baixa solubilidade, da ordem de 10^{-21} a 10^{-48} , porém mediante a interação entre dois minerais de sulfeto de diferentes potenciais eletroquímicos, em solução aquosa, pode desenvolver-se o processo chamado de interação galvânica (Subrahmanyam & Forssberg, 1993), afetando desta feita o caráter de solubilidade dos mesmos. Durante este processo, o mineral de maior potencial eletroquímico retira elétrons do de menor potencial. Considerando o PbS, cujo potencial eletroquímico é de $0,40\text{V}$ e ZnS, com $0,46\text{V}$, em solução aquosa, gera-se uma corrente elétrica com as seguintes reações químicas de oxi-redução:

Os processos de adsorção em minerais de argila, sobre hidróxidos de ferro e manganês ou matéria orgânica, são também importantes na redução da concentração de metais pesados nas águas subterrâneas.

A formação de precipitados é influenciada significativamente pelas condições do potencial redox (Eh) e pH das águas. As atividades do homem, com a conseqüente contaminação dos solos e água subterrâneas pode afetar o regime Eh-pH, modificando o caráter de formação de precipitados e também, a capacidade de adsorção dos metais pesados pelo terreno.

6.4.2 - Avaliação de resultados de análises de metais pesados das águas subterrâneas na área de Natal

De acordo com Figueredo (1991), foi constatado a presença de metais pesados com teor superior aos limites padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) nas águas de alguns poços tubulares da área de Natal. A Tab. 6.9 apresenta os resultados das análises de metais pesados das águas de dez poços tubulares (uma amostra de cada poço), contidos no referido trabalho, na qual podem ser observados os poços considerados afetados por chumbo e em alguns casos por cobre e cádmio. Essas análises foram executadas no Laboratório de Análises e Tratamento de Minérios da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte (CDM/RN).

No âmbito deste trabalho, foram executadas nesse mesmo laboratório, análises de metais pesados de amostras d'água de 28 poços, na maioria dos casos com três determinações em cada poço em diferentes campanhas de amostragem, nos meses

de janeiro, fevereiro e março de 1994 (anexo 9.7). Na amostragem foram incluídos além dos poços estudados por Figueredo (1991), outros poços localizados no domínio de fontes potenciais de contaminação e, também, situações onde não foi identificada nenhuma atividade contaminante.

Tab.6.9 - Resultados de análises de metais pesados (Figueredo, 1991)

POÇO	LOCAL/ CAPTAÇÃO	DATA	METAIS PESADOS (ppm)						pH
			Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	
109	Queiros e Melo	06.04.90	0,000	0,080	0,160	0,000	0,000	0,090	5,0
107	FEBEM	22.06.90	0,000	0,080	0,310	-	0,000	0,000	5,6
106	Av. Cap. Mor Gouveia, 555	22.06.90	0,000	0,150	0,290	-	0,000	0,000	6,8
100	Rod. Nova	10.04.89	0,000	0,000	0,000	-	-	0,000	4,9
74	P-11a (Capit. Dunas)	20.06.90	0,000	0,040	0,520	-	0,000	0,000	6,6
150	S.A.A.B.	23.03.90	0,005	0,080	0,080	-	0,000	0,070	4,7
75	P-12 (Capit. Dunas)	26.03.90	0,000	0,080	0,510	-	0,000	0,080	6,7
171	P-01 (R4)	20.06.90	0,000	0,000	0,350	-	0,000	0,000	6,4
105	Ind. Jossan	04.04.90	0,006	0,140	0,420	0,010	0,000	0,110	4,7
82	P-5a (Cap.Lag. Nova .I)	26.06.90	0,000	0,190	1,020	-	0,000	1,270	6,7
LIM. POTOB. (OMS)			-	0,050	5,000	0,05	0,050	1,000	

Os resultados apresentados, em geral, mostraram diferentes concentrações de metais pesados nas amostras d'água de cada poço, coletadas nas diferentes datas. Não se denota nenhuma relação dessas variações com os valores de pH (Fig. 6.13), o que era de se esperar já que este parâmetro está variando em geral numa faixa muito pequena. O comportamento das variações dos teores de metais pesados em cada poço com o tempo, apesar de em alguns casos mostrarem uma mesma relação, no quadro geral isto não ocorre. Verifica-se que há uma maior incidência de pontos indicando baixa concentração ou ausência de metais pesados. A considerar os valores obtidos de maior concentração de metais pesados, todos os poços amostrados estariam contaminados, o que é pouco provável. É difícil, por exemplo, conceber a presença de chumbo e cromo nas taxas apresentadas para os poços 123, 166 e 03 (Tab. 6.10),

situados no Motel Deville, Clube dos taxistas e Ponta Negra, respectivamente, onde não é identificada nenhuma atividade contaminante.

Fig.6.13-Varição nos teores de metais pesados na água de poços, referentes aos meses de janeiro, fevereiro e março de 1994. (valores em ppm x 100)

Melo(1995)

Tab. 6.10 - Teores de Pb e Cr (em mg/l), obtidos nos poços 123,03 e 161

Melo (1995)

POÇO	LOCALIZAÇÃO	DATA	Pb	Cr
123	Motel Deville	08.02.94	0,4860	0,5586
		08.03.94	0,0220	0,0000
		28.03.94	0,0280	0,0034
03	Ponta Negra	01.02.94	0,2760	0,1482
		01.03.94	0,0640	0,0000
		22.03.94	0,0000	0,0150
161	Clube dos Taxistas	07.02.94	0,2040	0,1392
		07.03.94	0,0000	0,0000
		28.03.94	0,0700	0,0000

Com o objetivo de obter um novo parâmetro de referência para efeito comparativo quanto à presença de metais pesados nas águas subterrâneas de Natal, durante a terceira campanha de amostragem dos 28 poços, já referidos, foram coletadas simultaneamente duas amostras em cada poço, uma das quais destinada ao laboratório da CDM e a outra ao laboratório de análises d'água da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Os resultados (Tab. 6.11) mostram que no caso deste laboratório, de um modo geral, não foi detectada a presença de metais pesados nas águas dos poços, e nos casos positivos, esses valores estão bem abaixo dos limites de potabilidade estabelecidos pela OMS. Não há entretanto diferenças significativas entre os resultados obtidos pela COMPESA e pela CDM, merecendo menção apenas quanto ao cádmio e cromo, que nas águas analisadas neste laboratório estão sempre presentes e em alguns casos superior ao limite estabelecido para o uso. As situações de maior destaque neste sentido, ocorrem com os poços 107 da FEBEM, 104 da Fábrica de refrigerante DORE e 03 da captação Ponta Negra, nos quais foram obtidos na CDM concentração de Cádmio de 0,022; 0,011 e 0,010, respectivamente, portanto superiores ao limite de potabilidade que é de 0,001 mg/l. No laboratório da COMPESA não foi detectado Cadmio no poço 03 da captação Ponta Negra, e com relação aos poços 107 e 104 a informação é de <0,002 mg/l nas duas unidades. No poço 129 da Indústria de Confeção Guararapes e do número 104, da Fábrica de refrigerantes DORE, não foi detectado a presença de Cromo no laboratório da COMPESA, entretanto no laboratório

Tab. 6.11 - Comparação dos resultados das análises de metais pesados executadas em março de 1994 nos laboratórios da CDM/ Natal/ RN e COMPESA/ Recife/ PE.

Melo (1995)

POÇO	LOCAL/ CAPTAÇÃO	LABORATÓRIO	CONCENTRAÇÃO DOS METAIS EM PPM					
			Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Ag
109	Queiroz e Melo	CDM	0,000	0,014	0,004	0,024	-	-
		COMPESA	< 0,016	0,017	ND	ND	ND	ND
107	FEBEM	CDM	0,012	0,062	0,022	0,000	-	-
		COMPESA	< 0,016	0,030	< 0,002	ND	0,036	ND
106	Av. Cap. Mor Golv.,555	CDM	0,000	0,013	0,005	0,028	-	-
		COMPESA	< 0,016	0,037	< 0,002	ND	0,014	ND
100	Rod. Nova	CDM	0,000	0,003	0,003	0,030	-	-
		COMPESA	ND	0,041	ND	ND	0,008	ND
74	P-11A (Cap. Dumas)	CDM	0,000	0,013	0,001	0,024	-	-
		COMPESA	0,023	0,290	ND	ND	< 0,007	ND
150	S.A.A.B.	CDM	0,000	0,000	0,003	0,040	-	-
		COMPESA	< 0,016	0,276	ND	ND	ND	ND
75	P-12 (Cap. Dumas)	CDM	0,000	0,023	0,001	0,0226	-	-
		COMPESA	ND	0,034	< 0,002	ND	< 0,007	ND
82	P-5A (Cap. Lag. nova II)	CDM	0,000	0,014	0,009	0,025	-	-
		COMPESA	ND	< 0,005	ND	ND	ND	ND
104	Refr. DORE	CDM	0,000	0,0132	0,011	0,050	-	-
		COMPESA	< 0,016	0,285	< 0,002	ND	0,009	ND
110	Clube TELERN	CDM	0,000	0,012	0,0026	0,025	-	-
		COMPESA	< 0,016	0,021	< 0,002	ND	0,032	-
101	Viação Nordeste	CDM	0,000	0,015	0,006	0,026	-	-
		COMPESA		0,083	< 0,002	ND	ND	ND
182	SIPROFAR	CDM	0,000	0,010	0,005	0,023	-	-
		COMPESA	< 0,016	0,016	< 0,002	ND	< 0,007	ND
158	SORIEDEM	CDM	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-
		COMPESA	< 0,016	0,047	< 0,002	ND	0,014	ND
68	P-05A (Cap. Dumas)	CDM	0,000	0,000	0,006	0,026	-	-
		COMPESA	ND	0,272	ND	ND	< 0,007	ND
96	P-11 (Cap. Lag. nova II)	CDM	0,000	0,000	0,006	0,027	-	-
		COMPESA	ND	0,031	< 0,002	ND	0,007	ND
03	P-03 (Cap. Ponta Negra)	CDM	0,000	0,000	0,010	0,015	-	-
		COMPESA	ND	0,041	ND	ND	< 0,007	ND
156	Alpargatas	CDM	0,000	0,022	0,008	0,019	-	-
		COMPESA	ND	0,09	ND	0,016	0,007	ND
152	SIMAS	CDM	0,000	0,000	0,009	0,015	-	-
		COMPESA	0,021	0,023	< 0,002	ND	0,011	ND
129	Confecções Guararapes	CDM	0,000	0,000	0,008	0,051	-	-
		COMPESA	ND	0,048	ND	ND	< 0,007	0,005
179	Policlínica	CDM	0,000	0,000			-	-
		COMPESA	< 0,016	0,123	< 0,002	ND	0,12	ND
85	P-12 (Cap. Lag. Nova I)	CDM	0,000	0,016	0,005	0,037	-	-
		COMPESA	< 0,016	0,033	ND	ND	0,007	ND
LIM. POTABILIDADE (O.M.S.)			0,050	5,000	0,005	0,050	1,000	-

ND - Não detectável

da CDM o teor obtido nos dois casos foi equivalente ao limite máximo recomendado para o uso ou seja, de 0,05 mg/l.

Um novo teste quanto a presença de metais pesados nas águas subterrâneas foi feito utilizando mais uma vez o laboratório da CDM. Desta feita, foram selecionados 10 pontos d'água, incluindo a Lagoa do Jiqui, e, coletadas simultaneamente três amostras de cada unidade, conforme mostra Tab. 6.12. Os resultados apesar de mostrarem diferenças, no quadro geral as variações não são significativas, com exceção dos casos de poços no qual em uma das determinações não se constatou a presença de metais pesados, enquanto em outros são indicados valores superiores aos dos limites padrões de potabilidade. É o que se verifica, por exemplo, com o poço P-11, da captação Lagoa Nova II, cujas amostras coletadas indicaram valores de Cadmio de 0,0174; 0,0132 e 0,0000 mg/l. Também, com o poço 164 do Forno do Lixo, no qual os teores de Cadmio são de 0,0328; 0,0250 e 0,0000 mg/l.

Com base nessas considerações, fica evidenciado a inexistência de metais pesados nas águas subterrâneas de Natal em concentrações superiores aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde. Os valores anômalos da concentração de metais pesados nos termos apresentados, deve estar associados as limitações impostas pelo próprio equipamento ou erros envolvidos na leitura.

Tab. 6.12 - Resultados de análises de metais pesados executadas no laboratório da CDM/RN de amostras d'água coletadas em um mesmo tempo

Melo (1995)

POÇO	LOCAL/ CAPTAÇÃO	DATA	METAIS PESADOS (PPm)					pH
			Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	
164	Forno do Lixo	25.04.94	0,0264	0,0250	0,0000	0,0328	0,0284	6,0
			0,0120	0,0302	0,0000	0,0250	0,0230	6,0
			0,0094	0,0000	0,0000	0,0000	0,0366	6,2
17	P-01 (Cidade Satélite)	25.04.94	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0384	5,7
			0,0522	0,0000	0,0000	0,0000	0,0368	5,5
			0,0122	0,0056	0,0000	0,0000	0,0386	6,0
	Campus Universitário	25.04.94	0,0000	0,0052	0,0010	0,0018	0,0368	5,8
			0,0026	0,0124	0,0000	0,0094	0,0376	5,8
			0,0000	0,0214	0,0000	0,0172	0,0450	5,5
	Lagoa do Jiqui	16.05.94	0,0040	0,0070	0,0000	0,0048	0,0338	6,0
			0,0364	0,0026	0,0000	0,0000	0,0354	6,2
			0,0082	0,0086	0,0000	0,0072	0,0396	6,2
68	P-5A (Cap. Dunas)	11.05.94	0,0000	0,0806	0,0000	0,0000	0,0000	4,7
			0,0000	0,0720	0,0000	0,0000	0,0000	4,7
			0,0006	0,0972	0,0000	0,0000	0,0000	4,7
	P-11 (Cap. Lag. Nova II)	25.04.94	0,0344	0,0000	0,0052	0,0174	0,0112	5,3
			0,0262	0,0124	0,0414	0,0132	0,0234	5,1
			0,0262	0,0000	0,0428	0,0000	0,0452	5,0
	P-03 (Pla. Negra)	07.07.94	0,0026	0,0000	0,0000	0,0080	0,0000	5,2
			0,0000	0,0494	0,0000	0,0000	0,0000	5,1
			0,0000	0,0418	0,0000	0,0000	0,0022	5,0
	Motel Deville	07.07.94	0,0000	0,0574	0,0000	0,0000	0,0034	5,0
			0,0000	0,0066	0,0000	0,0000	0,0000	5,0
			0,0000	0,0766	0,0000	0,0000	0,0014	5,2
	SIPROFAR	07.07.94	0,0000	0,0066	0,0150	0,0000	0,0030	4,5
			0,0000	0,0338	0,0132	0,0000	0,0000	4,7
			0,0000	0,0674	0,0038	0,0000	0,0000	4,7
	Clube TELERN	07.07.94	0,0000	0,0568	0,0000	0,0000	0,0029	5,0
			0,0000	0,0650	0,0000	0,0000	0,0106	5,1
			0,0000	0,0754	0,0000	0,0000	0,0056	5,0
LIM. DE POTABILIDADE (O.M.S.)			-	0,050	5,000	0,010	0,05	

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ocorrem na área de Natal duas unidades geológicas distintas: os sedimentos do Grupo Barreiras de idade terciário-quaternária, formados de arenitos e argilas intercaladas e as areias de dunas atribuída ao quaternário. Os sedimentos Barreiras afloram em estreita faixa no domínio da área e ocorrem em sub-superfície em toda extensão desta, com espessura em média de 60m. As dunas cobrem praticamente toda área com espessuras muito variadas e condicionadas ao relevo local.

Do ponto de vista hidrogeológico essas duas unidades formam um sistema hidráulico único, complexo e indiferenciado que constitui o Sistema Aquífero Dunas/Barreiras. As dunas exercem a função de uma unidade de transferência das águas de infiltração em direção aos estratos inferiores arenosos do Barreiras. Este modelo difere do concebido nos trabalhos anteriores, os quais admitem a existência dos aquíferos Dunas e Barreiras separadamente.

O sistema aquífero Dunas/Barreiras é de elevado potencial hidrogeológico e seus recursos exploráveis são da ordem de 70 milhões de m³/ano. O volume anual utilizado de águas subterrâneas é de 52×10^6 m³, havendo um saldo disponível médio de 18×16 m³/ano sem contudo considerar as reservas permanentes.

A elevada potencialidade do sistema é atribuído, em grande parte, à alta capacidade de infiltração das águas de chuva nas dunas, cuja taxa é da ordem de 48%. As águas infiltradas garantem a restituição das perdas por exploração e pelo fluxo subterrâneo natural.

A zona principal de recarga do manancial subterrâneo situa-se no setor sudeste da área, que abrange toda a faixa Planalto-San Vale - Ponta Negra. As lagoas existentes no domínio da área de estudo, constituem, também, fontes de recarga do Sistema Aquífero Dunas/Barreiras, com destaque para aquelas situadas no Jiqui, Pirangi e Ponta Negra, que em geral são perenes, condicionadas pela formação de aquíferos suspensos.

Os cursos d'água superficiais e o mar apresentam condições de efluência com relação ao sistema aquífero Dunas/Barreiras, e desta feita, representam os exutórios naturais das águas subterrâneas.

As águas subterrâneas da área de Natal até cerca de 30m de profundidade, são em geral do tipo bicarbonatada cálcica e as águas mais profundas são cloretadas sódicas. Há uma mudança de bases com a profundidade. O cátion cálcio muda para o alcalino sódio, através da permuta com o terreno, mediante o processo de dissolução. Com relação aos ânions, o bicarbonato é substituído pelo cloreto, sob influência da maior solubilidade deste íon a maiores profundidades.

As águas de chuva são cloretadas sódicas, devido, sobretudo a proximidade do mar. Essas águas ao se infiltrarem no terreno sofrem modificações hidroquímicas, devido ao aporte de CO_2 de atmosfera e da zona insaturada, favorecendo a formação de íons bicarbonatos nas águas subterrâneas rasas.

As águas são em geral ácidas, pH médio de 5,5; baixa salinidade, condutibilidade elétrica da ordem de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e corrosivas.

O Sistema Aquífero Dunas/Barreiras está ameaçado à degradação devido às atividades do desenvolvimento urbano, salientando-se como as mais impactantes o sistema de saneamento com disposição local de efluentes domésticos (fossas e sumidouros) e a ocupação irregular e desordenada do terreno.

Do ponto de vista quantitativo as águas subterrâneas estão sendo afetadas pelas edificações e pavimentações, as quais reduzem a recarga do sistema aquífero Dunas/Barreiras.

No que concerne a qualidade, o principal tipo de contaminante envolvido é o íon nitrato, resultado provavelmente da biodegradação dos excrementos humanos provenientes de sistemas de disposição local de efluentes domésticos. A contaminação

já atinge uma expressiva área da cidade, cujos teores de nitrato são superiores aos limites estabelecidos pela organização Mundial de Saúde (OMS) ou seja 45 mg/l.

O modelo hidrogeológico conceitual apresentado mostra que as contaminações das águas subterrâneas ocorrem fundamentalmente devido a própria vulnerabilidade natural do sistema hídrico subterrâneo e intensidade das cargas contaminantes, não se atribuindo o fato, tão somente à construção inadequada dos poços, conforme admitiu-se nos trabalhos anteriores.

A contaminação das águas subterrâneas é favorecida pela vulnerabilidade atribuída às condições geomorfológicas e estrutura hidrogeológica. Essas se caracterizam pela existência do capeamento de areias de dunas, pela formação de depressões ou bacias fechadas, pela ocorrência de lagoas e sobretudo pela conexão hidráulica das dunas com os Sedimentos Barreiras.

O caráter de efluência dos mananciais superficiais e do mar com relação ao Sistema Aquífero Dunas/Barreiras, por outro lado, constitui um fator natural de proteção das águas subterrâneas quanto à penetração de águas contaminadas do rio Potengi e salgadas, do mar.

De um modo geral as águas subterrâneas não são contaminadas bacteriologicamente, já que na grande maioria dos casos analisados não foi detectada a presença de coliformes totais e fecais. A isto, se atribui a profundidade relativamente elevada das águas subterrâneas na maior parte da área, bem como a presença de material argiloso no domínio do meio poroso insaturado.

O nitrogênio ocorre nas águas subterrâneas, em geral, na sua fase mais estável que é o nitrato. O amônio e o nitrito são pouco representados.

Existe uma correlação entre a densidade populacional e o nível de nitrato nas águas subterrâneas de Natal. Nas zonas mais habitadas, os teores de nitrato nas águas subterrâneas tendem a ser mais elevados, atingindo níveis inadequados de

utilização (superiores a 45 mg/l), tal como ocorre nos bairros do Alecrim, Tirol e Cidade da Esperança. Nestas localidades, são encontradas águas com 100 a 180 mg/l de nitrato.

A contaminação também está associada ao tempo de implantação e funcionamento das atividades urbanas. Uma ocupação mais recente geralmente apresenta-se menos afetada por nitrato, conforme pode ser constatado nos bairros do setor Sul da cidade.

As localidades de Cidade Satélite, Pirangi e Ponta Negra embora sejam bairros relativamente novos e de baixa densidade populacional, já apresentam águas subterrâneas com teores de nitrato superiores ao nível geral de base (10 mg/l).

O nitrato presente nas águas subterrâneas mesmo naquelas áreas não contaminadas, porém em concentrações superiores ao nível geral de base, ao que tudo indica, é resultado da oxidação dos amoníacos provenientes das fossas e sumidouros.

A contaminação de áreas muito pouco habitadas, como é o caso do Bosque dos Namorados, onde está situada a parte norte da captação Dunas, do Sistema Público de Abastecimento, está condicionada à potencialização do fluxo subterrâneo oriundo de uma área já bastante afetada. Há uma diminuição dos teores de nitrato com a distância a partir da fonte contaminante, devido a diluição pelo processo de dispersão hidrodinâmica.

O processo de contaminação por nitratos é cumulativo e praticamente irreversível. Isto é fundamentado no fato de que as áreas beneficiadas com rede de esgotos, mesmo as mais antigas, continuam com águas subterrâneas contaminadas por nitrato. A alta taxa de ocupação dessas áreas reduzem a infiltração das águas de chuva, dificultando a lixiviação dos solos, como também afetam o movimento do fluxo subterrâneo, reduzindo a diluição dos contaminantes, dando como resultado teores de nitrato elevados. Há uma tendência geral a crescimento dos teores de nitrato nas águas subterrâneas de Natal ao longo do tempo.

Outras atividades que estão favorecendo a contaminação das águas subterrâneas por nitratos são: a presença de cacimbões transformados em fossa, as lagoas com lançamento de esgotos domésticos, o descarregamento de esgotos na superfície do solo e os eventuais vasamentos na rede de esgotos.

De 64 poços do Sistema Público de Abastecimento d'Água, 19% deles ou seja 12 unidades, já apresentam teores de nitrato superiores ao limite estabelecido pela organização Mundial de Saúde que é de 45 mg/l. As captações mais afetadas são aquelas situadas em áreas contaminadas, como as captações Dunas e Felipe Camarão.

Os teores de nitrato mais baixos nas águas dos reservatórios de distribuição são obtidos naqueles que recebem uma maior contribuição da água da lagoa de Jiqui devido a diluição propiciada pelas águas desta, cuja concentração é inferior a 10 mg/l. Em alguns casos, poços contaminados por nitrato são injetados diretamente na rede de distribuição de água, o que aumenta o perigo de consumo humano.

Além do íon nitrato, o cloreto, sódio e condutividade elétrica revelaram-se bons indicadores da contaminação das águas subterrâneas por sistemas de disposição local de efluentes domésticos.

As águas subterrâneas de Natal, em geral, não apresentam metais pesados com concentrações superiores aos padrões de potabilidade. Os valores atípicos obtidos nos trabalhos anteriores provavelmente estão associados às limitações impostas pelo próprio equipamento utilizado e erros envolvidos na leitura.

Diante da importância que representa as águas subterrâneas de Natal na qualidade de vida da população, é necessário a adoção de medidas visando a proteção das mesmas. Neste sentido, são feitas a seguir recomendações que possam orientar na condução de trabalhos ou atividades que impeçam a degradação das águas subterrâneas, tanto em termos qualitativos como quantitativos.

- É necessário o monitoramento da qualidade das águas, o que poderá ser feito segundo as faixas de densidade populacional e considerando a presença de fontes pontuais de contaminação como lixões, indústrias, cemitérios, postos de combustível, ou outras atividades impactantes. Deverão ser determinados os indicadores de contaminação de acordo com o tipo de atividade contaminante. Além dos compostos nitrogenados, bactérias patogênicas e metais pesados, recomenda-se examinar a presença de hidrocarbonetos e orgânicos sintéticos.
- Os pontos d'água utilizados nas avaliações hidroquímicas devem ser observados quanto as variações dos níveis potenciométricos, afim de que haja o controle de exploração do manancial.
- Considerando a elevada vulnerabilidade das águas subterrâneas de Natal à contaminação pelos sistemas de disposição local de efluentes domésticos, é de fundamental importância que seja implementado a nível global um plano de esgotamento sanitário eficiente, procurando dar prioridade às áreas pouco afetadas por nitratos. Os projetos de desenvolvimento urbano no âmbito do Plano Diretor da cidade devem ser acompanhados de proposta de implantação da rede de esgotos.
- As captações do Sistema Público de Abastecimento d'Água de Natal afetadas por teores de nitrato elevado à níveis incompatíveis com o uso, deverão ser desativadas. A suplementação da demanda d'água, nestas condições, poderá ser feita mediante a perfuração de poços no setor sul da cidade, onde as águas subterrâneas são ainda nativas e de excelente qualidade.
- Recomenda-se o disciplinamento das atividades de perfuração mediante a adoção de técnicas eficientes de localização, construção e exploração, no sentido de que seja otimizado o aproveitamento dos recursos hídricos

e com águas de boa qualidade. Neste sentido, os poços devem apresentar as seguintes particularidades: serem localizados em setores não contaminados por nitrato; dispor de perímetros de proteção; serem construídos com filtros e tubos de revestimento resistentes à corrosão pelas águas e apresentarem proteção sanitária adequada, além de outras características comuns a um bom projeto de poço de captação.

- Que sejam tomadas medidas visando conter ou eliminar fontes de contaminação tais como cacimbões transformados em fossa, lagoas com lançamentos de esgotos clandestinos, descarregamento de esgotos "in natura" nos cursos d'água superficiais e vasamentos na rede de esgotamento sanitário.
- Os cacimbões transformados em fossas devem ser esgotados e aterrados; as lagoas recuperadas, seguido do monitoramento das contaminações das suas águas e solos; os esgotos devem ser tratados e descarregados em locais seguros de baixa vulnerabilidade à contaminação, e, a rede de esgotos deve ser inspecionada quanto a ocorrência de possíveis vasamentos e estes, quando for o caso, eliminados.
- Os poços abandonados, tanto tubulares como os cacimbões, devem ser aterrados, já que os mesmos constituem fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.
- O setor sul da área estudada, em especial o San Vale e Planalto, deve ser preservado já que o mesmo constitui a zona principal de recarga do manancial subterrâneo. Convém evitar desmatamentos no seu domínio e, na medida do possível, a sua ocupação com obras de engenharia que possam impactar nas águas subterrâneas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACQUA-PLAN, 1978. Recarga artificial aplicada à drenagem urbana de Natal, RN. Elementos para o Projeto Piloto da Bacia SI-2 (Campo do Preá). Estudos, Projetos e Consultoria, Relat. Final, Recife, PE, 86 p. il.
- ACQUA-PLAN, 1988. Avaliação das possibilidades de infiltração de efluentes domésticos no aquífero dunas na área de Natal, RN. Estudos, Projetos e Consultoria, Recife, PE, 121 p. il..
- ALHAJJAR, B.; CHESTERS, G. & HARKIN, J.M., 1990. Indicators of chemical pollution from septic systems. Ground water, 28(4): 559-568.
- AVERYANOV, S.F., 1949. The dependency of water permeability of soil on its air content. Dokl. Akad. Nauk SSSR, 69, n° 2.
- BASTOS, C.R.A.; POPPE, L.P.M.; SILVA, M.F.B. & DANTAS, M.G.F., 1990. Evaluation of groundwater potential pollution sources in the State of São Paulo-Brazil. International seminar of Pollution, Protection and Control of Groundwater, Porto Alegre, RS., p. 122-129.
- BERNARDES Jr., R.C., 1985. A decomposição e adsorção de compostos orgânicos apolares em solos insaturados. Rev. Águas Subterrâneas, 9: 85-98.
- BERNARDES Jr., R.C. & CLEARY, R.W., 1988. Contaminação de águas subterrâneas por poluentes orgânicos tóxicos e cancerígenos - um estudo de caso. 5° Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, São Paulo, p. 257-265.
- BOGOMOLOV, Yu.G.; ZHABIM, V.F. & KHACHATURIAN, V.Kh., 1985. Hydrogeological studies in soil percolation and land reclamation. Soviet Geophysical committee, de Moscou, USSR. Gordon and Breach Science Publishers, 290 p. il..
- BRANCO, S.M., 1984. Poluição: a morte dos nossos rios. 2ª Ed. São Paulo, ASCETESB, 166p.

- BRANCO, S.M. et all, 1991. Hidrologia ambiental. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos hídricos (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 3).
- BRASIL, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE), 1990. Ensaio de permeabilidade em solos. São Paulo, SP, 9 p, anexos.
- BRASIL, COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN), 1978-1994. Relatórios Técnicos das Captações do Sistema Público de Abastecimento d'Água de Natal, RN.
- BRASIL, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), 1982. Reconhecimento hidrogeológico e estudo sobre a qualidade atual das águas subterrâneas da Grande Natal. São Paulo, SP. 2v (Relatório IPT nº 14.813).
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA; 1969. Atas climatológico do Brasil. Rio de Janeiro, 100 f., mapas.
- CAMPUS e SILVA, A., 1966. O Grupo Barreiras na região de Natal. Univ. Fed. Rio Grande do Norte, Inst. Antropol., avulso, 4p.
- CAMPUS e SILVA, A., 1969. Contribuição ao estudo do Grupo Barreiras no Rio Grande do Norte. Univ. Fed. Rio Grande do Norte, Inst. Antropol., Natal, 14p.
- CAMPUS e SILVA, A., 1970. Observações sobre a geologia da região de Natal, Rio Grande do Norte. Univ. Fed. do Rio Grande do Norte (UFRN), Inst. de Antropol., Natal, 14p.
- CAMPUS e SILVA, A. & COUTINHO, P.M., 1971. Aspectos Sedimentológicos da Formação Macaiba na região de Natal (Rio Grande do Norte). Rev. Estud. Sedim., 2: 133-143, Natal, RN.
- CASTANY, G., 1975. Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, Spain, 738 p.

- CASTRO, S.C.S.; ARID, F.M.; SANTOS, C.C.M.; SILVA, R.A. & CUNHA, I.P., 1992. Contaminação por água subterrânea em São José do Rio Preto(SP). Contaminação por nitrato. 7º Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, p. 103-106.
- COSTA, J.T., 1985. Estudo do crescimento populacional de Natal e sua distribuição espacial até o ano 2000. Gerência de Expansão da Área Metropolitana, Divisão de Planejamento Técnico Metropolitano, CAERN, Natal-RN.
- COSTA, M.I.P. & PERRIN, P., 1981. Os sistemas de dunas litorâneas da região de Natal: granulometria e morfoscopia dos grãos de quartzo. Univ. Fed. Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas, Deptº Geol., Bol. 1: 1-5.
- COSTA, W.D., 1970. Estudo hidrogeológico de Natal/RN. Consultoria Técnica de Geologia e Engenharia (CONTEGE), Companhia de Água e Esgoto do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN). Recife, Pe., 224 P.
- COSTA, W.D. & SALIM, J., 1972. Aspectos estruturais da faixa sedimentar costeira da região de Natal, Rio Grande do Norte. Rev. Estud. Sedim., 2: 133-143, Natal, RN.
- CUSTÓDIO, E. & CARRERA, J., 1989. Aspectos generales sobre la contaminación de las aguas subterráneas. Seminari impacte ambiental. Fundació Narcís Monturiol, Universitat d'Estiu de Catalunya, Barcelona.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R., 1976. Hidrologia Subterránea. Barcelona, Ed. Omega. 2v. il.
- EISEN, C. & ANDERSON, M.P., 1979. The effects of urbanization on ground-water quality Milwaukee, wisconsin, U.S.A. Groundwater, september, p. 378-390.

ELLERT, N. & FILHO, E.R., 1988. A geofísica aplicada na detecção de lixo urbano enterrado. Exemplo Curitiba-Paraná-BR. 5º Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, São Paulo, p. 237-246.

ELLERT, N.; GREENHOUSE, J.; WILLIAMS, M.M.; MENDES, J.M.B. & HASSUDA, S., 1986. A geofísica aplicada na identificação da poluição do subsolo por depósitos de rejeitos urbanos e industriais. 4º Cong. Bras. Águas Subterrâneas, Brasília, DF., Anais: 528-532.

ELLERT, N.R.S.; MENDES, J.M.B. & MARTIN, E., 1990. Mapeamento geofísico do lixo de São Carlos. 6º Cong. Bras. Águas Subterrâneas, Porto Alegre, RS. p. 82-88.

FENZL, N., 1988. Introdução à Hidrogeoquímica. Belém; Universidade Federal do Pará. 189p.

FIGUEREDO, E.M., 1991. Concentrações anômalas de metais pesados nas águas de alguns poços de Natal. 36º Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, Anais. 2: 807-815.

FIGUEREDO, E.M.; MARTINS, C.A. & CASTRO, V.L.L., 1992. Abastecimento de água potável na Base Naval Ary Parreiras, Natal, RN. Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte (CDM/RN).

FOSTER, S. & GOMES, D.C., 1989. Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas: una evaluación de métodos y costos. CEPIS Technical Report (OPS-OMS-HPE, CEPIS, Lima, Perú), 111 p. il.

FOSTER, S. & HIRATA, R., 1991. Determinacion del riesgo de contaminacion de aguas subterráneas. Una metodologia basada em datos existentes. CEPIS. Technical Report (OPS-OMS-HPE, CEPIS, Lima, Perú), 81 p. il.

- FOSTER, S., VENTURA, M. & HIRATA, R., 1987. Contaminacion de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el Suministro de agua Potable. CEPIS technical Report (OMS., OPS-HPE, CEPIS, Lima, Perú), 42 p. il.
- ✓ FOSTER, S.; HIRATA, R.C. & ROCHA, G.A., 1988. Riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. 5º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, p. 175-185.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A., 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 601p.
- HANZSCHE, N.N. & FINNEMORE, E.J., 1992. Predicting Ground-water Nitrate-Nitrogen impacts. Ground water 30(4): 490-495.
- HIRATA, R.C.A.; BASTOS, C.R.A.; ROCHA, G.A.R.; GOMES, D.C. & IRITANI, M.A., 1990. Groundwater Pollution risk and vulnerability map of the São Paulo State-Brasil. International Seminar of Pollution, Protection and Control of Groundwater, Porto Alegre, RS. p. 236-246.
- KOMOR, S.C. & ANDERSON, Jr., H.W., 1993. Nitrogen isotopes as indicators of nitrate sources in Minnesota sand plain aquifers. Ground water, 31(2): 260-270.
- LEWIS, W.J.; FOSTER, S.S.D. & DRASAR, B.S., 1988. Analisis de contaminacion de las águas subterrâneas por sistemas de saneamiento basico. CEPIS Technical Report (OPS-OMS-HPE, CEPIS, Lima, Peru).
- LLOYD, J.W. & HEATHCOTE, J.A., 1985. Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. An introduction. Oxford University Press, New York.
- MABESOONE, J.M., ROLIM, J.L. & CASTRO, C., 1977. Late cretaceous and cenozoic history of northeastern, Brasil. Geologie Mijnbouw, 56: 129-139.

- MARTINS, M.T.; PELLIZARI, V.H.; PACHECO, A.; MYAKI, D.M.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N.R.; MENDES, J.M.B.; HASSUDA, S., 1991. Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. *Rev. Saúde Públ. São Paulo* 25(1): 47-52.
- MAURÍCIO, A.M., 1970. Balanço hídrico segundo Thornthwaite, 1948. Recife, SUDENE, Departamento de Recursos Naturais, n. paginado.
- MELO, J.G. & FIGUEREDO, E.M., 1990. Comportamento hidráulico e vulnerabilidade do sistema aquífero Dunas/Barreiras à poluição na área de Natal/RN. *Rev. Águas Subterrâneas, ABAS, São Paulo*, 13: 112-124.
- MOREIRA-NORDEMAN, L.M. & REBOUÇAS, A.C., 1986. Comportamento geoquímico de ions de água de chuva e subterrânea. 4º Cong. Bras. Águas Subterrâneas, Brasília, DF., Anais: 221-230.
- NAZARÉ Jr, D., 1993. Mapeamento geológico e gravimétrico da região de Natal. Univ. Feder. do Rio Grande do Norte, Deptº de Geologia, Rel. Graduação, Natal, 68 p.
- NOGUEIRA, A.M.B., 1981. O Cenozóico Continental da Região de Natal. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 119 p.
- O.P.S. & O.M.S., 1980. Critérios de Salud ambiental 5. Organizacion Panamericana de la Salud. Organizacion Mundial de la Salud, Washington, E.U.A. Publicación Científica nº 394.
- OLIVEIRA, E.; CLEARY, R.W.; CUNHA, R.C.A. & PACHECO, A., 1990. Gasoline hydrocarbons: groundwater pollution potential in Metropolitan São Paulo. International Seminer of Pollution, Protection and Control of Ground water, Porto Alegre, RS. p. 92-103.

- PACHECO, A., 1986. Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. *Rev. Sist. Planej. Adm. Metropolitana*. p. 17-25.
- PACHECO, A. & MENDES, J.M.B., 1990. Cemitérios podem contaminar as águas subterrâneas. *Rev. Saneamento Ambiental*, julho, nº 6, p. 31-33.
- PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; HASSUDA, S., 1988. O problema geoambiental da localização de cemitérios em meio urbano. 5º Cong. Bras. Águas Subterrâneas, São Paulo, SP, Anais: 207-215.
- PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; MARTINS, M.T.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A.A., 1990. Cemitéries - A potential risk to ground water. Preprints International Seminar of pollution, protection and control of groundwater, Porto Alegre, RS. p. 85-91.
- PACHECO, A.; PELLIZARI, V.H.; MIDORI, D.; TORRES, S. & MENDES, J.M.B., 1992. Os perímetros de proteção sanitária em cemitérios e sua importância para as águas subterrâneas de abastecimento. Estudo preliminar. 7º Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, MG., Anais: 119-122.
- PARISOT, E.H.; GUIGUER Jr. N.; REBOUÇAS, A.C.; CABRAL Jr. D. & DUARTE, U., 1984. Monitoramento das águas subterrâneas adjacentes ao aterro sanitário de Taubaté(SP) - Primeiros resultados. *Bol. IG-USP, Série Científica*, 16: 32-45.
- PIPER, A.M. & GARRETT, A.A., 1953. Native and Contaminated ground waters in the Long Beach - Santa Ana area, California. *Geological Survey Water-Supply Paper*, 1136, 320 p.
- PLANAT, 1983. Estudo hidrogeológico da região metropolitana de Natal. Planejamento em Recursos Naturais, Recife, PE. Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN), Relat. Final, Natal, RN, 180 p.

- REBOUÇAS, A.C., 1991. Groundwater use and protection in the petrochemical complex region, Camaçari, Bahia, Brazil. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 24, 12: 141-150.
- REICHARDT, K., 1985. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4º Ed. rev. e ampliada. Campinas, Fundação Corgill. 466p. il.
- ROBERTSON, W.D., CHERRY, J.A. & SUDICKY, E.A., 1991. Groundwater contamination from two small septic systems on sand aquifers. *Groundwater*, 29(1): 82-92.
- SALIM, J. & COUTINHO, P., 1974. Aspectos sedimentológicos do estuário do Potengi; Natal, Rio Grande do Norte. *Rev. Est. Sedimentol.*, 141-153, Natal, RN.
- SALIM, J., LIMA, M.S. & MABESOONE, J.M., 1974a. Tentativa de subdivisão do Grupo Barreiras na região costeira de Natal, RN. *Bol. Núcleo Nordeste, Soc. Bras. Geol.*, 4 - Atas VI Simp. Geol. Nordeste, Maceió(AL), p. 13-18.
- SALIM, J., LIMA, M.S. & MABESOONE, J.M., 1974b. Vales estruturais no litoral leste do Rio Grande do Norte. *Bol. Núcleo Nordeste, Soc. Bras. Geol.*, 4 - Atas VI Simp. Geol. Nordeste, Maceió-AL, p. 41-47.
- SALIM, J.; SOUZA, C.J.; MUNIZ, G.C. & LIMA, M.R., 1976. Novos subsídios para a elucidação do episódio "Barreiras" no Rio Grande do Norte. *Bol. Núcleo Nordeste Soc. Bras. Geol.*, 5 - Atas VII. Simp. Geol. Nordeste, Fortaleza, CE.: 149-158.
- SOUSA, H.B. & DERISIO, J.C., 1977. Guia técnico de coleta de amostras de água. São Paulo, SP, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 275 p. il.
- SCHALCH, V.; LEITE, W.C.; JUNIOR, W.F.; AGUIAR, E.M. & JUNIOR, J.L.F., 1992. Aterro sanitário: considerações sobre a escolha do sítio, projeto, implantação, operação e monitoramento. 7º Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, MG.. p. 123-135.
- SCHOELER, H. Les eaux souterraines. Paris, Masson. 642p.

- SCUDINO, P.C., 1992. Avaliação hidrogeológica em área de disposição de resíduos sólidos, com riscos de poluição de aquíferos. 7º Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, p. 128-135.
- SINELLI, O; AVELAR, W.E.P.; LOPES, J.L.C. & ROZELLI, M., 1988. Impacto ambiental nas águas subterrâneas da Bacia do Rio Pardo(SP) - lixões e pesticidas. 5º Congr. Bras. de Águas Subterrâneas, São Paulo, p. 247-255.
- STUMM, W. & MORGAM, J.J., 1981. Aquatic chemistry, 2nd Edition. Wiley, New York. 780p.
- SUBRAHMANIAM, T.V. & FORSSBERG, K.S.E., 1993. Mineral solution interface chemistry in minerals engineering. Minerals Engineering, Vol. 6, 5: 439-454. Printed in Greet Britain.
- SZIKSZAY, M, 1990. Estação experimental de hidrogeoquímica (Cidade Universitária, USP). Bol. IG-USP, Especial - Jornadas Científicas, p. 139-142.
- SZIKSZAY, M.; CONSOMI, A.J.; GUIGUER, Jr., M.; HASSUDA, S.; KIMMELMA, MM, A.A.; PARISOT, E.H.; SGAMBATO, F. & YOSHINAGA, S., 1986. instalação de uma estação experimental para estudo da dinâmica e da evolução da composição química da água na zona não saturada. Rev. Águas Subterrâneas 10: 5-20.
- SZIKSZAY, M.; COMSONI, A.J.; YOKOTA, H.K.; ARAUJO, J.R.; DUART, V.; KANEHISHA, M.S., 1987. Estudo preliminar da hidrodinâmica na zona não saturada da Estação Experimental (Cidade Universitária, São Paulo). Rev. Águas Subterrâneas 11: 33-62.
- SZIKSZAY, M.; HYPOLITO, R.; KIMMELMAMM, A.A.; FIGUEREDO, R.M.; ORLANDO, R.; SAMESHIMA, R.H., 1988. Estudo hidrogeológico e hidrogeoquímico na zona não saturada. V Cong. Bras. de Águas Subterrâneas, São Paulo, Anais. São Paulo, p. 133-143.

9. ANEXOS

Anexo 9.1 - Resultados do Cadastramento de Pontos d'Água

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
02	R. AFONSO MAGALHÃES, 271 - PONTA NEGRA	26.12.92	42,44	29,00	1,60	0,43	20,11	22,29	26°	660	7,0	8,8	-	CACIMBÃO DESATIVADO
06	R. AFONSO MAGALHÃES, 252 - PONTA NEGRA	26.12.92	39,10	22,70	1,50	0,58	17,76	21,34	25°	205	4,0	70,8	-	CACIMBÃO SEM PROTEÇÃO
07	R. TEOTÔNIO VILELA, 18 - PONTA NEGRA	26.12.92	30,70	10,91	1,45	0,00	9,60	21,10	26,5°	172	5,0	12,8	-	CACIMBÃO DESATIVADO E TAMPADO (ISOLADO)
08	R. CURIMATÃ, 44 - PONTA NEGRA	26.12.92	27,80	10,68	1,40	0,20	6,55	21,25	26°	257	6,0	1,3	-	CACIMBA DESATIVADA (GRANJA KARINA)
09	R. ERIVAN FRANÇA (ATRÁS DA BARRACA 37) - PONTA NEGRA	03.12.92	4,40	3,60	2,30	0,75	1,65	2,75	24,5°	370	5,0	70,4	-	
11	R. MONOEL CORINGA, 152 (R. DA IGREJA) - PONTA NEGRA	03.12.92	34,00	16,90	1,63	0,26	17,10	16,90	25,5°	230	6,0	-	-	CACIMBÃO DESATIVADO SECO EM 12/92
12	R. DA FLORESTA, - PONTA NEGRA	26.12.92	37,30	27,70	1,47	0,42	26,39	10,91	26°	340	6,0	0,8	-	CACIMBÃO DESATIVADO
14	R. ALTO DA BOA VISTA, 555 - PONTA NEGRA	26.12.92	39,20	19,00	1,48	0,38	19,58	19,62	26°	460	6,0	0,0	-	CACIMBÃO DESATIVADO
17	R. MONOEL CONGO, 386 - PONTA NEGRA	26.12.92	38,60	31,00	1,53	0,57	23,21	15,39	26,5°	89	5,0	11,0	-	
18	R. JOSÉ BRAGANÇA, 58 - PONTA NEGRA	26.12.92	30,40	29,84	0,64	0,47	27,53	2,87	-	140	5,0	5,7	-	
19	AV. DO JIQUI (EM FRENTE AO POSTO PIRANGI)	26.12.92	26,60	15,00	1,30	0,70	3,16	23,44	25,5°	260	5,0	2,6	-	CACIMBÃO ABANDONADO
20	AV. DO JIQUI (VIZINHO AO POSTO JIQUI)	26.12.92	27,40	4,80	1,65	0,53	4,50	22,90	25,5°	164	6,0	-	-	CACIMBÃO ABANDONADO
25	R. CAPARÃO C/ A R. BELO HORIZONTE - PIRANGI	26.12.92	36,00	20,00	1,60	0,75	19,15	16,85	26,5°	206	5,0	-	-	CACIMBÃO C/ BOMBA

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
40	R. DA TORRE (PROX. AP P. 09) - NOVA DESCOBERTA	26.12.92		23,25	1,30	0,00								CACIMBÃO SECO
41	R. THEODORICO GUILERME, 14 - MORRO BRANCO	26.12.92	40,50	30,64	1,64	0,53	30,53	9,97	26,5°	410	6,0	-	-	CACIMBÃO DESATIVADO
43	R. ANTÔNIO BASÍLIO, 228 - MORRO BRANCO	01.02.93	35,50	21,38	1,50	0,40	21,59	13,91	26,5°	380	6,0	-	-	CACIMBÃO DESATIVADO
44	AV. PRUDENTE DE MORAIS, 1981 - LAGOA SECA	01.02.93	38,50	24,56	1,40	0,57	18,85	19,65	27°	270	6,0	-	75,0	CACIMBÃO DESATIVADO
47	R. ALBERTO MARANHÃO, 1122 - TIROL		12,62	0,70	1,60	0,00	0,40	12,22	25°	440	7,0		56,0	
48	R. GUILERME TINOCO, 1253 - TIROL		13,00	0,50	2,00	0,00	0,20	12,80	31°	230	6,0	-	-	CACIMBÃO ABANDONADO
50	R. SILVINO BEZERRA, 1420 - LAGOA SECA	04.01.93	37,50	24,71	1,68	0,29	21,98	15,52	25°	550	6,0		14,0	CACIMBÃO DESATIVADO
53	AV. NASCIMENTO CASTRO, 1887 - LAGOA NOVA	09.12.92	39,80	25,10	2,00	0,51	15,81	23,99	26,5°	560	6,0	2,2	-	CACIMBÃO DESATIVADO
55	AV. ANTÔNIO BASÍLIO, 206 (AO LADADO ARMAZÉM PARÁ) LAGOA NOVA	09.12.92	38,00	13,45	1,75	0,46	13,91	24,09	26°	174	5,0	-	-	CACIMBÃO DESATIVADO
57	R. DOS POTIGUARES, 73 - LAGOA NOVA	02.01.93	34,70	14,52	1,30	0,00	8,87	25,83	28°	460	4,0	110,0	-	CACIMBÃO C/ BOMBA
58	GRANJA NOSSA SENHORA DOS PRAZERES	26.12.92	30,80	3,38	2,20	0,26	2,72	28,08	23°	110	5,0	-	-	
59	GRANJA NOSSA SENHORA DOS PRAZERES	26.12.92	30,30	9,34	1,23	0,68	5,06	25,24	26,5°	105	4,0	-	-	
60	GRANJA SÃO CAMILO	26.12.92	32,20	14,76	1,76	0,44	8,66	23,54	25°	120	4,0	0,0	-	
62	ALAGOINHA - PIRANGI	26.12.92	31,30	3,91	1,54	0,30	2,01	29,29	24,5°	145	6,0	-	-	
63	ESTRADA DA ALAGOINHA (QUASE EM FRENTE A RES. 3201)		35,00	23,51	1,73	0,57	11,80	23,20	25,5°	70	4,0	-	-	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
64	ESTRADA DE ALAGOINHA - RANCHO DA LAGOA	26.12.92	30,80	5,05	1,17	0,40	2,39	28,41	25°	175	5,0	-	-	
65	GRANJA ROSA LISBOA (EM FRENTE A CIDA)		45,30	28,00	1,64	0,18	29,67	15,63	26,5°	270	6,0	-	-	CACIMBÃO DESATIVADO
66	ESTRADA DE ALAGOINHA	14.12.92	39,80	30,95	1,49	0,47	24,13	15,67	27°	110	5,0	5,8	-	CACIMBÃO DESATIVADO
67	ESTRADA DE ALAGOINHA	14.12.92	40,30	31,10	1,47	0,43	25,45	14,85	26°	45	4,0	2,2	-	
69	GRANJA SÃO JANUÁRIO ORLANDO LIMA - ALAGOINHA	14.12.92	43,00	33,96	1,50	0,70	28,00	15,00	27°	75	5,0	5,6	-	
70	AV. ABEL CABRAL, S/N - ANTIGA ESTRADA DO JIQUI		46,50	34,25	1,70	0,68	30,91	15,59	27°	57	7,0	2,6	20,0	
71	AV. ABEL CABRAL, 17 - ANTIGA ESTRADA DO JIQUI	22.12.92	42,10	29,45	1,77	0,52	26,75	15,35	27°	94	5,0	12,4	-	
72	AV. ABEL CABRAL, S/ N. (GRANJA SÃO JOSÉ)	22.12.92	38,20	25,56	2,0	0,75	22,87	15,33	26,5°	1.200	7,0	0,0	-	
74	AV. ABEL CABRAL S/ N - PRÓX. AO ALAMEDA BOA ESPERANÇA	22.12.92	40,30	31,57	1,17	0,15	28,00	12,30	26,5°	61	5,0	4,8	-	
75	AVENIDA PRINCIPAL - GUARAPES	27.12.92	48,50	25,53	1,53	0,47	20,27	28,23	26°	49	5,3	5,3	-	
76	AVENIDA PRINCIPAL - SÍTIO NOVO (GUARAPES)	26.12.92	46,20	23,64	1,43	0,60	20,07	26,13	27°	50	5,0	2,2	15,0	
77	R. GERÔNIMO CÂMARA C/ SÃO JOSÉ - LAGOA NOVA	02.01.93	36,50	22,40	1,28	0,73	15,31	21,19	27°	320	6,0	1,3	34,0	
79	R. BORGES DE CASTRO, 4 - LAGOA NOVA	02.01.93	38,70	15,46	1,54	0,28	11,45	27,25	26,5°	370	5,0	97,4	-	
80	AV. PRINCIPAL/VALE DO PLANALTO - GUARAPES	27.12.92	46,00	22,23	1,54	0,60	17,17	28,83	26°	40	4,0	0,8	-	
81	AV. PRINCIPAL, 48 - GUARAPES	27.12.92	46,50	25,12	1,50	0,67	19,53	26,97	27°	39	5,0	0,8	-	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
82	AV. PRINCIPAL, PRÓX. DA OFICINA - GUARAPES	27.12.92	48,20	26,06	1,48	0,56	21,53	26,67	27°	35	4,0	4,4	-	
83	AV. PRINCIPAL - GUARAPES	27.12.92	48,50	25,76	1,62	0,73	21,26	27,24	26,5°	78	4,0	0,8	-	
85	GRANJA MARTINS - GUARAPES	27.12.92	27,00	8,95	1,90	0,21	-	-	26°	90	5,0	4,4	-	PRÓXIMO AO R4 (GUARAPES)
86	GUARAPES (SÍTIO NOVO)	27.12.92	45,50	20,40	1,53	0,61	-	-	27°	133	5,0	4,4	-	
87	S/ENDEREÇO (PORTAZ DA C-80 - GUARAPES (SÍTIO NOVO))	27.12.92	45,70	22,66	1,47	0,50	17,76	27,94	28°	53	4,0	3,1	-	
88	R. BRASIL - GUARAPES	27.12.92	49,10	28,37	1,60	0,52	25,84	23,26	28°	66	4,0	0,4	-	
89	R. BRASIL (LIMITE DA ÁREA DA MARINHA) - GUARAPES	27.12.92	49,30	29,27	1,50	0,37	25,92	23,38	29,5°	72	4,0	0,4	-	
90	GUARAPES	27.12.92	48,20	27,50	1,43	0,40	23,80	24,40	27°	68	5,0	0,4	-	
91	GUARAPES	27.12.92	45,80	24,20	1,33	0,67	24,06	21,74	26°	48	5,0	0,4	-	
92	GUARAPES - PROP. FRANCISCO PEGADO	27.12.92	45,70	26,00	0,56	0,47	23,33	22,37	27°	69	5,0	0,4	-	
93	GUARAPES	27.12.92	46,70	29,00	1,54	0,54	24,87	21,83	26°	76	5,0	0,0	-	
94	GUARAPES	27.12.92	47,30	27,10	1,67	1,00	24,82	22,48	28°	47	5,0	0,4	-	
95	GUARAPES	27.12.92	49,10	27,80	1,83	0,40	25,85	23,25	26,5°	83	5,0	0,8	-	
96	PLANALTO	27.12.92	47,40	27,30	1,90	0,50	24,32	23,08	27°	48	4,5	0,4	-	
97	PLANALTO	27.12.92	49,00	26,70	1,66	0,70	24,67	24,33	27°	63	5,0	2,6	-	
98	PLANALTO	27.12.92	47,70	23,38	1,35	0,45	20,65	27,05	27°	90	5,0	3,9	-	
99	PLANALTO	27.12.92	45,80	26,67	1,38	0,54	22,20	23,60	27,5°	51	5,0	1,3	-	
100	PLANALTO	27.12.92	47,00	25,70	1,40	0,65	22,35	24,65	27°	46	5,0	7,0	-	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
101		27.12.92	45,40	27,80	-	0,50	22,79	22,61	27°	75	5,0	1,3	-	
102	PROP. JONAS ANTÔNIO TEIXEIRA (PLANALTO)	27.12.92	47,50	26,37	1,20	0,40	23,69	23,81	27°	110	5,0	1,3	-	
103	PROP. PEDRO COLESTINO DA SILVA (PLANALTO)	27.12.92	-	29,61	1,50	0,55	25,61	-	27°	60	4,50	0,0	-	
104	PROP. JACINTA ÂNGELA DA CONCEIÇÃO (PLANALTO)	27.12.92	-	28,29	1,52	0,32	25,98	-	26°	49	4,0	0,4	-	
105	PROP. PEDRO RODRIGUES DECARVALHO (PLANALTO)	27.12.92	50,50	29,32	1,43	0,68	25,31	25,19	26°	60	4,5	0,0	-	PRAÇA SÃO FRANCISCO Nº 1526
106	PLANALTO	27.12.92	-	16,00	1,50	0,30	-	-	-	-	-	-	-	CACIMBÃO EM CONSTRUÇÃO
107	PROP. JOÃO BATISTA DA SILVA (PLANALTO)	27.12.92	54,60	32,44	1,52	0,38	-	-	27,5°	44	4,5	0,0	-	
109	GUARAPES (PRÓX. AO FIO DE ALTA TENSÃO)	28.12.92	46,90	23,80	2,00	0,40	19,68	27,22	26°	45	5,0	0,4	-	
110	GUARAPES	28.12.92	48,50	26,40	1,50	0,53	21,36	27,14	27,5°	73	5,0	0,4	-	
111	PROP. JOSÉ C. SOBRINHO (PLANALTO)	29.12.92	51,30	29,78	1,53	0,60	26,33	24,97	26°	61	4,5	0,0	20,0	
112	PLANALTO	28.09.92	49,20	28,00	1,20	-	-	-	27°	48	4,5	0,0	-	
113	PLANALTO	28.09.92	48,90	26,31	1,70	0,42	22,52	26,38	27,5°	111	4,5	0,0	-	
114	PLANALTO	28.09.92	47,40	24,10	1,70	0,10	21,33	26,07	26°	183	4,5	0,0	-	
115	R. PLANALTO, 31 (PLANALTO)	28.09.92	47,60	23,10	1,45	0,60	20,74	26,86	27°	94	4,0	0,0	-	POÇO C/ BOMBA
116	PLANALTO	28.09.92	46,50	24,78	1,72	0,41	17,89	28,61	25°	57	5,0	0,0	-	POÇO C/ BOMBA
117	PLANALTO	28.09.92		27,80	1,60	0,52	21,70		27°	65	5,0	0,0	-	POÇO C/ BOMBA
118	PLANALTO	10.12.92	51,00	27,74	1,70	0,44	23,09	27,91	26°	64	4,5	0,8	22,0	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
119	PLANALTO	29.12.92	47,60	23,35	1,50	0,46	19,54	28,06	27°	300	4,5	150,6	-	POÇO ABANDONADO
120	PLANALTO	29.09.92	49,50	26,68	1,45	0,50	21,70	27,80	26°	74	4,5	0,0	-	
121	PLANALTO	29.12.92	49,60	23,30	1,37	0,20	21,07	28,53	27,5°	179	5,0	0,0	-	CACIMBA ABANDONADA
122	PROP. MARIA CARMO DA SILVA (PLANALTO)	29.12.92	50,20	26,00	1,40	0,35	23,13	27,07	26°	66	4,5	0,4	-	
123	PROP. JOSÉ PEDRO DA SILVA (PLANALTO)	29.12.92	48,40	29,00	1,68	0,50	24,24	24,16	27°	58	4,5	0,0	-	POÇO C/ BOMBA
124	PRO. JOÃO MOURA (PLANALTO)	29.12.92	51,20	27,12	1,46	0,24	25,06	26,14	26,5°	54	5,0	0,4	-	
125	PLANALTO	01.10.92	49,50	25,55	1,47	0,43	21,70	27,80	25,5°	132	4,0	1,3	-	
126	PLANALTO	29.12.92	50,00	25,52	1,69	0,40	22,77	27,33	27°	65	5,0	1,3	-	
127	PLANALTO	01.10.92		24,52	1,54	0,35	20,92		27°	100	4,5	1,7	-	
128	PROP. OSVALDO ARCANJO DOS SANTOS (PLANALTO)	27.12.92	49,70	26,00	1,55	0,50	20,74	28,96	26°	175	4,5	1,7	-	
129	PLANALTO	27.12.92	45,50	23,40	1,30	0,87	19,12	26,38	26,5°	110	4,5	11,0	-	
130	PLANALTO	29.12.92	46,50	24,00	1,74	0,30	18,54	27,96	26,5°	43	5,0	0,4	-	
131	PRÓX. AO FORNO DO LIXO	28.12.92	49,00	23,78	1,50	0,33	19,61	29,39	26°	140	4,5	3,1	-	
132	PRÓX. AO FORNO DO LIXO	28.12.92	50,00	25,50	1,65	0,27	21,80	28,20	26°	165	5,0	4,8	-	
133	PROP. MARIA DAS DORES G. LIMA (PLANALTO)	28.12.92	51,30	25,70	1,79		23,79	27,51	26°	89	4,5	14,1	16,0	
134	PRÓX. AO FORNO DO LIXO	28.12.92	51,00	27,90	1,44	0,42	22,63	28,37	26°	82	4,5	1,7	-	
135	PROPRIEDADE DE VICENTE BARBOSA	29.12.92	51,50	28,22	1,63	0,54	23,54	27,96	26°	125	4,5	1,70	-	
136	PRÓX. AO FIO DE ALTA TENSÃO (PLANALTO)	10.12.92	51,50	26,24	1,52	0,56	22,57	28,93	26°	81	4,5	0,0	-	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
137	GRANJA SÃO FRANCISCO - GUARAPES	29.12.92	16,00	1,50	1,00	0,10	0,00	+16,00	25,5°	66	4,5	0,0	-	NASCENTE RIACHO DA PONTA
138	GRANJA MARAVILHA - GUARAPES	06.10.92	16,50	5,00	1,60	0,90	2,61	13,89	24°	94	4,5	3,1	-	PRÓX. AO RIACHO DA PRATA
139	GRANJA SÃO JOSÉ - GUARAPES	02.01.93	<1,00	0,83	3,92		0,0	<1,00	24,5°	76	8,00	0,0	-	FONTE DO RIACHO DA PRATA
140	GUARAPES	06.10.93	15,80	11,46	1,48	0,55	9,06	6,74	26,5°	87	4,5	18,6	-	
141	GUARAPES	02.01.93	13,50	7,70	1,50	0,33	5,67	7,83	26°	480	7,0	0,4	-	ABANDONADO
142	GUARAPES	06.10.92	12,80	7,54	1,44	0,43	5,50	7,30	26,5°	440	6,0	23,0	-	POÇO C/ BOMBA
143	GUARAPES	06.10.92	9,50	6,37	1,50	0,44	4,46	5,04	25,5°	180	4,0	21,7	-	
144	GUARAPES	02.01.93	17,20	11,10	2,70		8,44	8,76	25°	110	4,5	2,2	-	
145	GUARAPES	07.10.92	17,00	11,12	1,62	0,47	9,00	8,00	25,5°	98	4,5	8,8	-	
146	GUARAPES	13.10.92	6,00	4,50	1,33	0,26	2,33	3,67	24,5°	210	4,0	5,3	-	
147	GUARAPES	13.10.92	5,00	4,84	1,70		2,54	2,46	24,5°	200	4,0	7,0	-	
148	GUARAPES	13.10.92	6,50	5,73	1,15	0,27	2,40	4,10	25°	146	4,0	11,5	-	POÇO C/ BOMBA
149	GRANJA LUSITÂNIA - GUARAPES	13.10.92	8,50	15,00	1,40	0,75			26°	112	4,5	2,2	-	TOTALMENTE VEDADO, POÇO C/ BOMBA
150	GUARAPES	13.10.92	18,70	10,80	1,80	0,62	6,80	11,40	26°	102	4,5	2,2	28,0	
151	GUARAPES	13.10.92	13,00	9,79	1,50	0,43	5,40	7,60	26,5°	280	4,0	7,52	-	
152	GRANJA SANTA MARIA - GUARAPES	13.10.92	9,20	3,40	1,15	0,56	1,50	7,70	26,5°	152	4,5	2,6	-	POÇO C/ BOMBA
153	SÍTIO SÃO BENEDITO - PITIMBU	14.10.92	35,50	23,15	0,90	0,47	22,22	13,22	26°	90	4,0	12,8	-	
154	PRÓXIMO A PONTE - GUARAPES	15.10.92	3,00	1,98	1,00	0,57	0,00	3,00	24,5°	196	4,0	0,4	48,0	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
155	PRÓXIMO A PONTE - GUARAPES	15.10.92	3,50		1,26	0,00	0,00	3,50	25°	250	4,5	0,4	-	
156	GUARAPES	15.10.92			1,10	0,40	0,00		25°	194	4,0	2,2	-	
157	GUARAPES - MACAÍBA	15.10.92	3,00		1,10	0,46	0,00	3,00	25°	151	4,0	1,3	-	
158	GUARAPES - MACAÍBA	15.10.92	3,00		1,20	0,10	0,00	3,00	24°	195	4,0	0,4	-	
159	GUARAPES - MACAÍBA	15.10.92	3,00	2,80	1,20	0,70	0,23	2,77	23,5°	210	4,0	0,4	-	
160	GUARAPES - MACAÍBA	15.10.92	3,00	1,40	1,00	0,20	0,15	2,85	23,5°	320	5,0	4,8	-	
161	GUARAPES - MACAÍBA	29.12.92	11,00	7,80	1,60	0,55	5,20	5,80	-	312	4,0	16,4	77,0	
162	GUARAPES - MACAÍBA	19.10.92	9,00	4,54	1,30	0,50	2,84	6,16	-	72	5,0	6,2	-	
163	GUARAPES - MACAÍBA	19.10.92	10,00	8,00	1,86	0,45	5,64	4,36	-	105	5,0	8,8	-	
164	GRANJA SANTA ANE - GUARAPES	01.02.93	3,00		-	-	0,00	3,00	-	70	5,5	1,7	-	FONTE
165	GUARAPES - MACAÍBA	19.10.92	2,80		-	-	0,00	2,80	-	108	5,5	1,7	-	FONTE
166	GUARAPES - MACAÍBA	19.10.92	3,00		-	-	0,00	3,00	-	75	5,0	3,5	-	FONTE
167	GUARAPES / GRANJA SERIDÓ 21 - RN - NATAL / MACAÍBA	29.12.92	4,50	5,00	1,50	0,60	3,31	1,19		+3.000*	4,0	3,5	297,0*	CAMADA FERRUGINOSA ARGILA PRETA
168	GUARAPES - NATAL / MACAÍBA	19.10.92	2,00	-	-	-	0,00	2,00		62	5,0	6,6	-	FONTE
169	GUARAPES - NATAL / MACAÍBA	20.10.92	8,00	1,96	1,80	0,30	4,42	3,58	25°	2.170*	5,5	2,6	-	PRÓXIMO A LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO
170	GUARAPES	20.10.92		10,71	1,40	0,40	9,70		26,5°	175	5,5	23,0	-	EM FRENTE A LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
171	GUARAPES - GRANJA SANTO ANTÔNIO	20.10.92	4,00	-	-	-	0,00	4,00	24°	238	5,0	0,8	-	CRIAÇÃO DE GADO, LAGOA PRÓXIMA AO MANGE - FONTE
172	GUARAPES / FONTE - GRANJA CLUBE DOS ADVOGADOS	20.10.92	3,80	-	-	-	0,00	3,80	26°	75	4,5	0,8	-	FONTE
173	AV. RANIERE MAZILLE, 100 - FELIPE CAMARÃO	20.10.92	4,00	1,68	1,00	0,52	0,58	3,42	26,5°	56	5,0	3,5	-	
173A	AV. RANIERE MAZILLE, 07 - FELIPE CAMARÃO	21.10.92	-	-	-	-	0,00		24°	238	5,0	46,5*	-	FONTE
174	AV. RANIERE MAZILLE, 07 - FELIPE CAMARÃO	21.10.92	-	-	-	-	0,00		25°	250	4,5	44,3*	-	FONTE
175	AV. RANIERE MAZILLE, 2540 - FELIPE CAMARÃO	21.10.92		3,60	1,12	0,61	2,39		28°	160	5,0	30,1	-	FRIGORÍFICO
176	AV. RANIERE MAZILLE, 2540 - FELIPE CAMARÃO	21.10.92		4,10	-	0,40	2,60		29,5°	310	5,0	37,6	-	FRIGORÍFICO
177	RUA MIRAI - FELIPE CAMARÃO	02.01.93	31,00	21,68	1,60	0,45	19,55	11,45	26,5°	370	5,0	72,2*	-	
178	RUA MIRAI, 59 - FELIPE CAMARÃO	22.10.92	36,00	27,00	1,60	0,50	25,70	10,30	27°	142	5,0	16,8	-	CRIAÇÃO DE GADO
179	RUA MIRAI, 1302 - FELIPE CAMARÃO	27.10.92	29,80	21,00	1,60	0,50	19,01	10,79	26°	162	5,0	25,2	-	FOSSA PRÓXIMA
180	RUA MIRAI - FELIPE CAMARÃO	22.10.92	25,70	19,54	1,70	0,76	16,55	9,15	27°	210	5,0	65,1	-	
181	RUA MAR E CÊU - FELIPE CAMARÃO	02.01.93	49,50	22,76	2,10	0,56	19,94	29,56	27,5°	82	5,0	11,5	-	
182	TV. LEONARDO GAMA, 32 - FELIPE CAMARÃO	02.01.93	46,80	33,00	1,50	0,10	32,51	14,29	27,5°	163	5,0	7,9	-	
185	RUA FERRO CARDOSO, 510 - FELIPE CAMARÃO	02.01.93	48,30	33,50	1,80	1,00	28,21	20,09	26°	65	4,5	2,7	-	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
186	RUA SIMA, 19 (PRÓX. AO MORRO) F. CAMARÃO	02.01.93	51,80	33,71	1,66	0,76	29,34	22,46	26°	285	4,0	5,8	-	
189	RUA DA IGREJA, 400	02.01.93	42,30	31,70	1,60/6 "	0,82	28,93	13,37	27°	140	4,5	19,5	-	CACIMBÃO/ POÇO TUBULAR C/ BOMBA
190	RUA PASTOR GEORGINO GALVÃO C/ IDIOMAR, 500	27.10.92		32,94	1,52	0,32	28,85		27°	180	5,0	4,4	-	
191	RUA PASTOR GEORGINO GALVÃO S/N.	02.01.93	52,80	31,66	1,27	0,35	31,50	21,30	27°	88	5,0	14,1	-	
192	RUA MIRASSOL, 01 VAQUEIJADA.	02.01.93	52,80	39,70	1,70	0,88	33,10	19,70	25°	160	5,0	12,8	-	CRIAÇÃO DE ANIMAIS
193	RUA RANIERE MAZILLE, 561 - FELIPE CAMARÃO	29.10.92	12,40	8,87	1,50	0,48	5,40	7,00	28°	810	5,0	>120	-	CACIMBÃO DESATI-VADO
194	RUA PRES. RANIERE MAZILLE, 430 - F. CAMARÃO	29.10.92	3,00	-	-	-	0,00	3,00	27°	310	5,0	84,1	-	FONTE C/ CRIAÇÃO DE PORCOS
195	RUA PRES. RANIERE MAZILLE, 461 - F. CAMARÃO	29.10.92	3,50	-	-	-	0,00	3,50	28°	237	5,0	48,7	-	FONTE
196	RUA COPACABANA, 948 - Pe. Severino Soares - CIDADE NOVA	02.01.93	53,80	33,73	1,35	0,37	24,79	29,01	26,5°	390	5,0	62,0	54	
199	AV. DA DIVISÃO, 360 CIDADE NOVA	02.01.93	47,60	22,70	1,70	0,60	19,18	28,42	27°	540	4,5	55,3	50	
201	RUA PADRE JOÃO MARIA, 430 - F. CAMARÃO	02.01.93	61,40	37,54	1,70	0,93	33,07	28,33	26,5°	130	5,0	22,5	21,0	CACIMBÃO COM BOMBA
202	R. CABUGI, 78 (EM CIMA DO MORRO) - N. CIDADE	02.01.93	71,50	≈75,00	1,50	0,40	43,65	27,85	30°	180	5,0	28,8	24,0	
203	RUA CABUGI, 6376 - NOVA CIDADE	02.01.93	55,80	33,55	1,50	0,40	27,50	28,27	27,5°	410	5,0	26,8	-	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
205	RUA OCIDENTAL DE BAIXO, 42	02.12.92	2,00				0,00	2,00	27°	880	6,0	-	-	FONTE
207	RUA OCIDENTAL DE BAIXO, 300	02.12.92	0,98	2,60	0,90	-	0,90	0,08	29°	760	7,0		-	UTILIZADA P/ CONSUMO
208	HORTO FLORESTAL DO BALDO.- R. OCIDENTAL DE BAIXO, 764	02.12.92	0,80	4,66	1,10	0,40	0,65	0,15	27°	290	5,5	32,3	-	
209	HORTO FLORESTAL DO BALDO.- R. OCIDENTAL DE BAIXO, 764	02.12.92	5,00	2,00	1,41	0,72	0,20	4,80	26°	370	5,0	84,4	-	
211	RUA RIO POTENGI, 3552	11.11.92	4,50	1,86	1,06	0,00	0,00	4,50	26,5°	690	6,0		-	CRIAÇÃO DE PORCOS
212	RUA RIO POTENGI, 3356	11.11.92	4,80	1,50	1,20	0,27	0,60	4,20	25,5°	690	7,0			CRIAÇÃO DE PORCOS
213	RUA RIO POTENGI, 3382	11.11.92	5,20	2,85	1,57	0,39	1,53	3,67	27,5°	415	6,0	-	-	FOSSA A 2,00 M À MONTANTE
214	RUA RIO POTENGI, 3405	11.11.92	6,70	3,85	1,00	0,29	1,90	4,80	26,5°	1.430	6,0	-	-	CACIMBA
215	RUA TRAV. SÃO CRISTOVÃO, 430	18.11.92	3,00	3,18	1,65	0,25	0,95	2,05	25°	580	6,0	-	-	
216	RUA RIO POTENGI, 3517	11.11.92	4,00	3,09	1,61	0,80	0,98	3,02	26°	1.300	7,0	-	-	PRÓX. A FOSSA ABERTA
217	RUA RIO POTENGI, 2318	18.11.92	3,00	-	-	-	0,00	3,00	25,5°	380	5,0	-	-	FONTE
218	RUA RIO POTENGI, 2408	18.11.92	3,00				0,00	3,00		600	5,0		-	FONTE
221	VIZINHO A ESTAÇÃO SECADEIRA - R. ARARÍ - B. NORDESTE	26.11.92	4,00				0,00	4,00		200	4,5			FONTE
222	RUA DO BATUQUE - BAIRRO NORDESTE		5,00		2,05	0,57	1,70	3,23					-	
223	RUA DO BATUQUE, 48 - B. NORDESTE		7,00	2,35	0,93	0,30	0,76	6,24	25,5°	270	5,0		-	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
224	RUA DO BATUQUE, 311 - B. NORDESTE	12.11.92					0,00		27°	440	4,5		-	FONTE
225	R. ALUÍZIO ALVES, 543 - B. NORDESTE	12.11.92	6,00				0,00	6,00	26°	550	5,0		-	FONTE
226	R. ALUÍZIO ALVES - B. NORDESTE	12.11.92	3,20				0,00	3,20	25,5°	1.180	5,0		-	FONTE
227	R. ALUÍZIO ALVES C/ R. BELA VISTA - B. NORDESTE	12.11.92	4,00				0,00	4,00	27°	415	5,0		-	FONTE
228	RÁDIO NORDESTE, 307 - B. NORDESTE	12.11.92	4,50				0,00	4,50	27°	540	5,0		-	FONTE
229	RÁDIO NORDESTE - B. NORDESTE	12.11.92	21,80	16,92	1,55	0,60	13,00	8,80	28°	206	5,0		-	
230	R. NAPOLEÃO LAUREANO, 02 - QUINTAS	12.11.92	5,00				0,00	5,00	28°	345	4,5	101,8	-	FONTE
231	RIACHODASLAVADEI-RAS, PRÓX. A PONTE	12.11.92							29°	455	6,0		-	
232	R. SANTA HELENA, 21 - NOVO HORIZONTE	12.11.92	5,30			0,63	0,00	4,90	28°	120	5,0		-	PRÓX. AO RIO DAS LAVADEIRAS
233	R. SANTA HELENA, 26 - NOVO HORIZONTE						0,10		27°	450	5,0		-	LAVAGEM DE ROUPAS, CACIMBÃO
234	R. S/N - NOVO HORIZONTE	13.11.92	9,50				0,00	9,50	28°	540	5,0		-	FONTE (PRÓX A DES-CARGA DE ESGOTOS)
235	R. SANTA HELENA (SÍTIO)	13.11.92					0,00		29°	320	5,0		-	FONTE
236	R. SANTA HELENA (SÍTIO)						0,00		29°	470	5,0		-	FONTE
237	R. BELA VISTA 22 - CID. NOVA	02.01.93	52,68	27,55			23,98	28,70	26,5°	520	5,0	119,6	54	
238	R. SANTO AMARO (VIZ. A PANIFICADORA) - CID. NOVA	02.01.93	48,70	27,10	1,59	0,56	19,26	29,44	26,5°	170	5,0	17,7	19	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
239	R. OESTE, 44 - FELIPE CAMARÃO	16.11.92	49,80	30,38	1,55	0,55	22,31	27,49	26,5°	340	5,0	68,6*	-	CACIMBA DESATIVADA
240	R. FELIPE CAMARÃO, 157 - FELIPE CAMARÃO		54,20	32,72	1,80	0,00	26,71	27,49	26,5°	350	5,0	78,0	55,0	
242	R. PRES. JOSÉ BENTO, 788 - ALECRIM	11.03.92 18.02.93	38,50	15,70	1,50	0,00	12,31	26,19	27°	470	5,0	59,8	54	
245	R. RAIMUNDO FIUGUEIRA		37,80	28,00	1,80	0,70	19,51	18,29		170	5,0		-	
246	RUA HENRIQUE DIAS, 90 - BOM PASTOR	30.11.92	49,60											SECO
248	RUA BARÃO MAUÁ, 123	26.11.92	50,00	36,73	1,30	0,40	31,13	18,87	28°	211	5,0	53,1*		
249	RUA SÃO DOMINGOS, 1058 - KM 06	30.11.92	14,50	10,00	1,80	0,53	7,23	7,27	26°	300	5,0	13,7	-	
251	RUA JOÃO XXIII, 84 - MÃE LUÍZA	01.12.92	41,80	36,00	1,70	0,79	32,99	8,81	26°	160	5,5	23,0	-	
252	HOTEL BARREIRA ROXA - AREIA PRETA	01.12.92	6,00				0,00	6,00	27,5°	180	5,0	22,6	-	FONTE
254	MORRO DO SAGUI, S/N - LUIZ FRANCO (VULGO LUCAS)		54,00	30,78	1,63	0,27	26,94	27,06	27°	108	5,0	0,98	28,0	
255	MORRO DO SAGUI, S/N		52,80	29,47	1,62	0,53	25,62	27,18	27°	180	4,0	3,1	-	
256	MORRO DO SAGUI, S/N		44,60	30,12	1,67	0,52	25,00	19,60	-	-		-	-	CACIMBÃO FECHADO
258	RUA RIO POTENGI, 3113	18.02.93	4,50	2,47	1,50	0,60	0,70	3,80	27°	530	6,0	93,0	-	PRÓXIMO AO BUEIRO
259	PROP. F ^{co} GILA GOMES - R. NELSON GERALDO, 01 - FREIRE - LAGOA NOVA	18.02.93	43,80	20,90	1,70	0,51	16,99	26,81	27°	220	5,0	20,8	29,0	
263	SÍTIO NOVO - PLANALTO	18.02.93	51,50	28,00	1,54	0,35	22,52	28,78	27°	110	5,0	-	-	
264	SÍTIO NOVO - PLANALTO	18.02.93	52,00	33,16		0,54	24,12	27,88	26,5°	73	5,0	-	-	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
265	SÍTIO NOVO (Sr. CARLOS)	18.02.93	48,10	26,27	1,47	0,50	20,60	27,50	28,5°	230	5,0	-	-	
266	MORRO DO SANGUI. PROP. PEDRO F ^{co} DA SILVA	18.02.93	45,00	33,40	1,60	0,54	31,84	13,16	27°	430	6,0	-	-	
267	PARQUE DAS DUNAS (COLINAS) - R. CARLOS LAMA, 225 - PROP. WILLAME AMORIM	18.02.93	39,40	20,73	1,77	0,64	16,00	23,40	26,5°	78	5,0	0,8	25,0	
268	RUA DOS TORORÓS, 1545-LAGOA NOVA	18.02.93	44,60	15,20	1,60	0,53	-	-	-	-	-	-	-	SECO
269	GRANJA PADRE BRASIL - PARQUE DAS COLINAS	18.02.93	39,80	23,00	1,60	0,56	18,58	21,22	26,5°	510	5,0		74,0	
270	GRANJA SÃO SEBASTIÃO - PARQUE DAS COLINAS	18.02.93	42,20	26,10	1,50	0,60	18,40	23,80	27°	97	4,5	7,0	24,0	
271	GRANJA BOM JESUS - PARQUE DAS COLINAS	18.02.93	43,50	23,00	1,60	0,43	17,90	25,60	26,5°	69	5,0	0,0	19,0	
272	GRANJA LUÍS ANÓRIO - PARQUE DAS COLINAS	18.02.93		30,97	1,50	0,45	25,37		27°	90	5,0	5,3	24,0	
273	GRANJA GRACILENE - PARQUE DA COLINAS	18.02.93	47,20	31,23	1,60	0,70	26,07	21,13	26°	62	5,0	0,0	15,0	
274	SATÉLITE I	18.02.93	44,50	20,00	1,50	0,00	19,40	25,10	31°	130	5,0	18,8	20,0	
276	SATÉLITE I	18.02.93	45,00	17,10	1,60	0,35	16,50	28,50	30°	460	7,0	-	-	
277	SATÉLITE I	18.02.93	45,20	19,25	1,60	0,60	16,78	28,42	28°	450	7,0	0,44	-	
278	TRAV. CABUGÍ, 150 - NOVA CIDADE	18.02.93	52,00	23,28	1,60	0,50	22,90	29,10	27°	410	6,0	-	-	
279	R. SEBASTIÃO PINHEIRO, 19 - NOVA CIDADE	18.02.93	50,60	29,96	1,60	0,60	23,08	27,42	27°	84	5,0	20,8	14,0	
280	PROP. MARCOS SANTANA - SAN VALE	18.02.93	44,00	27,57	1,70	0,58	17,40	26,60	27°	230	6,0	0,3	25,0	

CADASTRAMENTO DE PONTOS D'ÁGUA

Melo (1995)

Nº	LOCALIZAÇÃO	DATA	COTA DO TERRENO (m)	PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	ALTURA DA BOCA (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	COTA DE NÍVEL ESTÁTICO (m)	TEMPERATURA (°C)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	pH	NITRATO NO ₃ (mg/l)	CLORETO Cl (mg/l)	OBSERVAÇÕES
281	PROP. ABDON FILHO - NOVA DESCOBERTA	18.02.93		33,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SECA
284	ESTR. DE PIRENGÍ, S/N EM FRENTE A VILA OLÍMPICA	18.02.93	40,80	29,70	1,20	0,00	25,94	14,86	28°	160	5,5	4,8	20,0	DESATIVADO
285	GRANJA DE AGNALDO - JOSÉ DOS SANTOS - P. NEGRA	18.02.93	39,80	26,12	1,40	0,58	24,28	15,52	28°	40	4,0	-	-	
286	GRANJA VIZINHO A GRANJA S. FRANCISCO - GUARAPES	18.02.93	32,50	16,57	1,37	0,52	14,00	18,50	27,5°	155	5,0	-	-	
287	R. POROROCA C/ BR 101 KM 4,5 EM FRENTE A ALPARGATAS	15.02.93	39,30	25,19	1,60	0,64	21,44	17,86	27,5°	64	5,0	0,0	20,0	
290	OFICINA DMOCS - RIBAIRA	10.03.93	2,50	10,85	6"	0,42	1,14	1,3	19°	520	6,5	27,0	59,0	POÇO TUBULAR
S ₁	LAGOA DE PITIMBÚ	27.01.93	28,80	5,00	6"	0,00	4,69	24,10	24,5	63	5,0	4,4	16,0	PIEZOMETRO
S ₂ (PZ)	SAN VALE	27.01.93	48,00	23,38	6"	0,00	22,36	25,6	25,5	140	5,0	2,2	28,0	PIEZOMETRO
S ₃ (PZ ₂)	CAMPUS UNIVERSITÁRIO	08.02.93	36,50	24,00	2"	0,15	22,13	14,3	28,0	63	4,5			PIEZOMETRO
S ₄ (PZ ₃)	LAGOA DOS POTIGUARES	05.02.93	28,20	17,13	2"	0,15	16,03	12,2						PIEZOMETRO
S ₅	BOSQUEDOS NAMO-RADOS	09.02.93	31,60	24,00	6"	-	>24	<27,6	-	-	-	-	-	PIEZOMETRO SECO
S ₆ (PZ ₄)	LAGOA DO PREÁ	12.02.93	33,00	16,80	2"	0,10	16,75	16,2						PIEZOMETRO
PZ ₁₃	CENTRO ADMINISTRATIVO	30.01.93	34,82	21,00	2"	-	16,92	17,90				9,3	17,0	PIEZOMETRO

Anexo 9.2 - Perfis Litológicos e Construtivos dos Poços Tubulares do Sistema Público de Abastecimento d'Água

CAPTAÇÃO DUNAS

Melo (1995)

CAPTAÇÃO LAGOA NOVA I

CAPTAÇÃO LAGOA NOVA II

CAPTAÇÃO NOVO CAMPO

LEGENDA

AREIA FINA	ARGILA	ARENITO CALCÍFERO
AREIA OU ARENITO C/ ARGILA	ARENITO	BASALTO
ARGILA ARENOSA	ARENITO C/ CASCALHO	

CIMENTAÇÃO
PRÉ-FILTRO
FILTRO
TUBO DE REVESTIMENTO

Melo (1995)

CAPTAÇÃO PONTA NEGRA

L E G E N D A

- AREIA FINA
- AREIA OU ARENITO COM ARGILA
- ARGILA ARENOSA
- ARGILA
- ARENITO
- ARENITO COM CASCALHO

- CIMENTAÇÃO
- PRE-FILTRO
- FILTRO
- TUBO DE REVESTIMENTO

Melo (1995)

CAPTAÇÃO PIRANGÍ

CAPTAÇÃO DO CONJUNTO CANDELÁRIA

CAPTAÇÃO CIDADE DA ESPERANÇA

LEGENDA

	AREIA FINA		CIMENTAÇÃO
	AREIA OU ARENITO C/ ARGILA		PRÉ-FILTRO
	ARGILA ARENOSA		FILTRO
	ARGILA		TUBO DE REVESTIMENTO
	ARENITO		
	ARENITO C/ CASCALHO		
	ARENITO CALCÍFERO		

Melo(1995)

CAPTAÇÃO CIDADE SATELITE

LEGENDA

	AREIA FINA		CIMENTAÇÃO
	AREIA OU ARENITO COM ARGILA		PRÉ-FILTRO
	ARGILA ARENOSA		FILTRO
	ARGILA		TUBO DE REVESTIMENTO
	ARENITO		
	ARENITO C/ CASCALHO		
	ARENITO CALCÍFERO		

Melo (1995)

CAPTAÇÃO DE FELIPE CAMARÃO - CIDADE NOVA

Meio (1995)

Anexo 9.3 - Parâmetros Hidroquímicos de Águas de Poços de Captações do Sistema Público de Abastecimento d'Água. (26/07 A 11/08/1993)

Parâmetros hidroquímicos de águas de poços de captações do Sistema Público de Abastecimento d'Água.

Melo (1995)

CAPTAÇÃO	POÇO	DATA	Cl ⁻ (mg/l)	C(μS/cm)	NO ₃ ⁻	pH
PONTA NEGRA	01 (P-1)	09.08.93	15,0	62,0	4,4	5,5
	02 (P-2)	09.08.93	14,0	65,0	2,2	5,5
	03 (P-3)	09.08.93	14,0	55,0	1,7	6,1
	04 (P-4)	09.08.93	23,0	148,0	37,6	5,6
	05 (P-5)	09.08.93	13,0	50,0	2,6	5,6
	06 (P-6)	09.08.93				
	07 (P-7)	09.08.93				
PIRANGI	08 (P-1)	09.08.93	21,0	140,0	38,9	5,5
	09 (P-2)	09.08.93	17,0	86,0	12,8	5,6
	10 (P-3)	09.08.93	18,0	115,0	26,1	5,6
	11 (P-4)	09.08.93	17,0	130,0	36,3	5,2
	12 (P-5)	09.08.93	19,0	123,0	33,6	5,3
	13 (P-6)	09.08.93	9,0	44,0	0,8	5,4
	14 (P-7)	09.08.93	18,0	85,0	12,8	6,2
	15 (P-8)	09.08.93	30,0	150,0	0,0	6,5
JIQUEI	16 (P-1)					
CIDADE SATÉLITE	17 (P-1)	10.08.93	18,0	80,0	5,7	6,4
	18 (P-2)	10.08.93	22,0	81,0	3,9	5,7
	19 (P-3)	10.08.93	18,0	80,0	8,8	5,6
	20 (P-4)	10.08.93	18,0	78,0	9,3	5,8
	21 (P-5)	10.08.93	15,0	74,0	11,5	5,7
	22 (P-6)	10.08.93	17,0	70,0	15,5	5,6
	23 (P-7)	10.08.93	16,0	77,0	19,0	5,8
CANDELÁRIA	24 (P-1)	09.08.93	18,0	105,0	23,0	5,6
	25 (P-2)					
	26 (P-3)	09.08.93	23,0	145,0	42,0	5,5
R - 4	27 (P-1)					
CIDADE DA ESPERANÇA	28 (P-1)	10.08.93	29,0	250,0	275,3	5,4
	29 (P-2)	10.08.93	36,0	280,0	88,6	4,8
FELIPE CAMARÃO e CIDADE NOVA	30 (P-1)	11.08.93	24,0	135,0	32,3	5,5
	31 (P-2)	11.08.93	22,0	78,0	3,1	5,6
	32 (P-3)	11.08.93	18,0	90,0	19,0	5,8
	33 (P-4A)	11.08.93	18,0	55,0	3,5	5,6
	34 (P-5)	11.08.93	21,0	75,0	9,7	6,1
	35 (P-6A)	11.08.93	20,0	104,0	20,8	5,6
	36 (P-7)					
	37 (P-8)	11.08.93	40,0	240,0	47,4	5,4
	38 (P-9A)	11.08.93	29,0	210,0	62,0	5,3
	39 (P-10)					
	40 (P-10A)					
	41 (P-11)	11.08.93	18,0	74,0	11,0	5,7

Melo (1995)

CAPTAÇÃO	POÇO	DATA	Cl ⁻ (mg/l)	C(μS/cm)	NO ₃ ⁻	pH
	42 (P-12)	11.08.93	24,0	85,0	0,8	5,4
	43 (P-13A)	11.08.93	18,0	75,0	11,0	5,4
	44 (P-14)	11.08.93	30,0	210,0	59,8	5,1
	45 (P-15)					
GUARAPES	46 (P-1)	23.08.93	18,0	55,0	0,0	6,2
NOVO CAMPO	47 (P-1)	30.07.93	18,0	95,0	16,8	5,8
	48 (P-2)					
	49 (P-3)	30.07.93	15,0	90,0	20,8	5,6
	50 (P-4)	30.07.93	16,0	92,0	19,9	5,5
	51 (P-5)	30.07.93	18,0	112,0	28,8	5,4
	52 (P-6)					
	53 (P-7)					
	54 (P-8)					
	55 (P-9)					
	56 (P-10)	30.07.93	21,0	94,0	12,1	5,8
	57 (P-11)	30.07.93	18,0	104,0	23,9	5,4
	58 (P-12)	30.07.93	19,0	102,0	20,8	5,6
	59 (P-13)	30.07.93	19,0	112,0	27,9	5,6
	60 (P-14)	30.07.93	20,0	134,0	36,3	5,5
	61 (P-15)					
	62 (P-16)					
	63 (P-17)	30.07.93	20,0	146,0	44,3	5,3
DUNAS	64 (P-1)	09.08.93	19,0	113,0	28,7	5,8
	65 (P-2)					
	66 (P-3)					
	67 (P-4)	09.08.93	40,0	300,0	97,4	5,6
	68 (P-5)	09.08.93	28,0	116,0	44,3	5,1
	69 (P-6)	09.08.93	28,0	176,0	53,1	5,2
	70 (P-7)	09.08.93	26,0	180,0	54,9	4,9
	71 (P-8)					
	72 (P-9)					
	73 (P-10)	09.08.93	25,0	195,0	55,3	5,7
	74 (P-11)	09.08.93	36,0	220,0	46,5	5,4
	75 (P-12)					
	76 (P-13)	09.08.93	26,0	178,0	50,9	5,5
	77 (P-14)	09.08.93	24,0	145,0	37,0	5,5
	78 (P-15)					
	79 (P-16)	26.07.93	25,0	170,0	48,2	5,6
LAGOA NOVA I	80 (P-1A)					
	81 (P-2A)					
	82 (P-5A)	11.08.93	16,0	87,0	18,6	6,3
	83 (P-8A)	11.08.93	15,0	95,0	25,2	5,3
	84 (P-10A)	11.08.93	17,0	117,0	32,3	5,4
	85 (P-12)	11.08.93	16,0	87,0	17,6	6,3

Melo (1995)

CAPTAÇÃO	POÇO	DATA	Cl ⁻ (mg/l)	C(μS/cm)	NO ₃ ⁻	pH
	86 (P-13)	11.08.93	14,0	110,0	19,9	6,3
	87 (P-14)					
LAGOA NOVA II	88 (P-1)	11.08.93	21,0	147,0	44,3	5,5
	89 (P-2)					
	90 (P-5A)	11.08.93	21,0	121,0	35,0	5,4
	91 (P-6)					
	92 (P-7)	11.08.93	19,0	86,0	17,7	5,4
	93 (P-8)					
	94 (P-9)					
	95 (P-10A)	11.08.93	17,0	90,0	20,8	5,4
	96 (P-11)					

OBS: O número entre parênteses corresponde a designação dada pela CAERN aos poços de captação do Sistema Público de Abastecimento

Anexo 9.4- Parâmetros Hidroquímicos de Águas de Poços Particulares. (16/08 A 12/09/1993)

Parâmetros hidroquímicos de águas de poços particulares

Melo (1995)

POÇO	LOCALIZAÇÃO	DATA	Cl(mg/l)	C(μS/cm)	NO ₃ ⁻	pH
97	Ed. Caminho do Mar	16.08.93	29,0	150	22,5	5,9
98	Ed. Rio Forist-Hill	16.08.93	30,0	158	28,7	5,1
99	Colégio Henrique Castriano	16.08.93	27,0	101	7,0	5,6
100	Rodoviária Nova	12.08.93	25,0	177	59,8	4,9
101	Viação Nordeste	12.08.93	29,0	179	30,1	5,7
102	Colégio Henrique Castriano	16.08.93	41,0	210	15,0	6,4
103	Motel Jóia	16.08.93	31,0	142	23,0	6,7
104	Refrigerante DORE	16.08.93	93,0	680	203,7	7,0
105	Jossan	17.08.93	31,75	250	50,66	7,0
106	Av. Cap. Mor. Gouveia, 555	17.08.93	22,0	280	78,4	7,1
107	FEBEM	17.08.93	31,0	300	110,7	5,4
108	DETRAN	17.08.93	20,0	190	72,2	5,8
109	Auto Viação Q. Melo (garagem)	17.08.93	27,0	190	62,0	5,4
110	Clube Recreativo da TELERN	17.08.93	20,0	87,0	15,4	5,3
111	Sede PETROBRÁS	17.08.93	17,0	55,0	4,4	5,7
112	Sede PETROBRÁS	17.08.93	21,0	83,0	15,0	5,6
113	Av. Amintas Barros, 2070	18.08.93	18,0	100,0	31,0	5,9
114	Ass. Esp. Env. Jesus	18.08.93	16,0	95,0	22,5	6,0
115	Armazém Pará	18.08.93	22,0	240,0	88,6	4,8
116	Posto J. Flor	20.08.93	45,0	350,0	78,4	5,1
117	Policlínica	20.08.93	80,0	510,0	175,4	5,8
118	Base Alm. Ary Parreiras	20.08.93	73,0	410,0	94,8	5,4
119	Ed. Luciano do Barros	20.08.93	34,0	200,0	59,4	5,1
120	Ed. Wimblendon		31,0	158,0	32,3	4,9
121	Ed. Varanda do Atlântico		30,0	150,0	32,3	5,1
122	Hotel Mar Sol		37,0	144,0	12,4	5,8
123	APEC		33,0	138,0	19,0	5,3
124	Motel DeVille		16,0	53,0	4,4	6,0
125	Hotel Vila do Mar		18,0	88,0	13,7	6,1
126	Ginásio Esp. Sagrada Família	23.08.93	64,0	450,0	137,3	5,4
127	Colégio das Neves	23.08.93	47,0	350,0	97,4	5,6
128	Casa de Saúde Natal		27,0	115	12,8	5,8
129	Ed. Manairama	23.08.93	22,0	113	21,7	5,8
130	Hotel Tirol	23.08.93	30,0	260	88,6	4,9
131	Confecções Guararapes	28.08.93	39,0	300	97,4	5,7
132	Confecções Guararapes	28.08.93	22,0	178	62,0	5,1
133	Hosp. Colônia	28.08.93	27,0	165	53,1	5,2
134	Hotel Parque da Costeira	28.08.93	19,0	85,0	3,1	5,7
135	Imirá Plasa Hotel	28.08.93	27,0	175	27,9	5,4
136	Barreira Roxa Praia Hotel	28.08.93	36,0	170	27,9	5,4

Melo (1995)

POÇO	LOCALIZAÇÃO	DATA	Cl(mg/l)	C(μS/cm)	NO ₃ ⁻	pH
135	P-1 / CAERN - Via Costeira	28.08.93	20,0	130	3,9	6,8
136	Vale das Cascatas	28.08.93	24,0	93,0	4,8	5,8
137	Natal Mar Hotel	28.08.93	21,0	90,0	7,9	6,1
138	Jacumã Hotel	28.08.93	18,0	122	20,8	5,4
139	Centro de Convenções/V. Costeira	28.08.93	19,0	95	13,7	6,4
140	Cond. P. Negra II Etap.	28.08.93	18,0	65,0	0,8	6,6
141	Cond. Almanare	28.08.93	28,0	102	6,6	6,1
142	Base Naval					
143	CDM-1995 - R. Jerônimo Câmara	28.08.93	42,0	310	101,8	5,0
144	Hosp. São Lucas	12.09.93	29,0	153	30,1	6,7
145	Ed. Jacome	12.09.93	19,0	95	12,4	5,9
146	Hosp. Polícia Militar	12.09.93	27,0	125	19,9	5,8
147	Quartel Polícia Militar	12.09.93	29,0	127	17,7	5,9
148	Hospital Memorial	12.09.93	30,0	130	18,6	5,8
149	Posto Natal	12.09.93	65,0	510	157,7	5,8
150	S.A.A.B. Confecções	12.09.93	46,0	350	97,4	4,8
151	Posto Senador	12.09.93	20,0	93,0	18,6	5,5
152	Ind. SIMAS	12.09.93	18,0	125	35,4	6,3
153	SIPROFAR	12.09.93	38,0	260	75,3	6,1
154	Posto Reis Magos	12.09.93	52,0	430	32,3	6,8
155	Hsp. Inf. Varela Santiago	12.09.93	26,0	116	16,8	5,8
156	Confecções ALPARGATAS	12.09.93	19,0	70,0	3,9	5,9
157	Confecções ALPARGATAS	12.09.93	16,0	68,0	5,3	5,6
158	SORIEDEM	12.09.93	24,0	175,0	55,3	5,8
159	BORBOREMA	12.09.93	24,0	152,0	38,9	5,4
160	Clube Jardinense	12.09.93	30,0	120	10,6	5,8
161	Clube dos Taxistas	30.08.93		122	2,16	5,7
162	Natal Shopping Center	30.08.93	31,0	250	72,2	6,3
163	FRIGONAT	30.08.93		448,4	105,0	5,7
164	Forno do Lixo	30.08.93	18,0	75	1,7	7,6
165	Leite Clan	30.08.93	49,0	360	110,7	4,8
166	Leite Clan	30.08.93	48,0	250	47,4	5,0
167	Posto 1003	30.08.93	33,0	250	87,7	5,3
168	Posto Brilhantão	30.08.93	51,0	360	110,7	7,8
169	ETFRN	30.08.93	24,0	173	55,3	4,5
171	R-4 (reservatório)		52,94	570	160,79	5,8
172	Jardim América	30.08.93	20,0	147	47,4	4,7
173	16° RI	30.08.93	21,0	102	24,3	4,8
174	Posto J. Flor IV	30.08.93	24,0	140		6,4
175	Posto Santa Luzia	30.08.93	44,0	340	94,8	5,1
176	Hirper Bom Preço	30.08.93	37,0	300	97,4	5,5
177	Inst. Bom Pastor	30.08.93	62,0	510	194,4	4,4
178	Dix-Setp Rosado (P-01)	30.08.93	20,0	114	27,9	6,3
180	Canteiros Mudas Marina					

Anexo 9.5 - Resultados de Análises Físicas de Águas de Poços Tubulares. (24/01 a 08/02/1994)

Resultados de análises físicas de águas de poços tubulares (24/01 a 08/02/1994)

Melo (1995)

POÇO/ AMOSTRAGEM	COR (A.P.H.A)	TURBIDEZ (mg/l SiO ₂)
104	5,00	0,20
110	0,00	0,00
101	0,00	0,00
109	2,50	0,05
107	2,50	0,00
106	2,50	0,00
100	0,00	0,00
182	5,00	0,75
158	2,50	0,15
68	2,50	0,40
96	2,50	0,00
03	2,50	0,20
156	2,50	0,00
33	-	0,70
30	-	0,40
09	-	0,50
04	-	0,40
47	-	0,50
54	-	0,50
88	-	0,40
67	-	0,50

POÇO/ AMOSTRAGEM	COR (A.P.H.A)	TURBIDEZ (mg/l SiO ₂)
152	2,50	0,00
150	0,00	0,40
129	0,00	0,35
75	2,50	0,00
181	5,00	0,05
180	5,00	1,14
161	2,50	0,50
171	2,50	21,11
149	0,00	0,00
123	0,00	0,00
167	0,00	0,15
105	2,50	0,55
C-02	17,50	1,71

Anexo 9.6 - Resultados de Análises Químicas de Águas de Poços (01/02 a 16/05/1994)

Resultados de análises químicas de águas de poços

Melo (1995)

POÇO	DATA	pH	C μS/cm	Sólidos Totais 105°C, mg/l	ALCAL.		Dureza Total mg/l CaCO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	Fe	Ca	Mg	Na	K	P	
					TA	TAC												
					mg/l CaCO ₃	mg/l												
104	24.02.94	5,7	387,6	250,40	0,00	6,94	70,82	8,47	56,44	6,12	86,42	0,45	8,58	12,00	35,00	7,11	0,00	
110	24.02.94	5,1	98,8	94,60	0,00	1,68	12,11	2,05	15,87	0,60	16,51	0,29	0,75	2,49	11,54	1,36	0,00	
101	24.02.94	6,5	170,2	138,20	0,00	12,42	27,49	15,15	17,64	13,33	33,33	0,12	7,65	2,04	19,23	2,95	0,00	
109	24.02.94	6,6	225,0	163,20	0,00	23,15	39,13	28,24	22,93	0,90	51,16	0,37	10,82	2,94	25,00	1,14	0,00	
107	24.02.94	6,0	425,6	325,00	0,00	19,36	64,29	23,62	52,91	0,45	100,00	0,22	11,94	8,37	41,82	1,82	0,00	
106	24.02.94	4,9	250,8	201,60	0,00	0,74	24,23	0,90	22,93	0,60	82,10	0,22	2,24	4,53	31,87	1,36	0,01	
100	24.02.94	4,5	188,5	146,00	0,00	0,00	16,31	0,00	21,16	0,45	52,08	0,38	1,68	2,94	23,75	1,14	0,01	
182	24.02.94	6,1	342,0	308,00	0,00	16,52	57,80	20,15	42,33	0,90	98,46	0,25	10,07	7,92	42,73	2,05	0,00	
158	24.02.94	5,5	164,2	137,20	0,00	3,79	39,60	4,62	21,16	0,60	46,76	0,21	1,49	8,71	15,38	3,86	0,00	
68	01.02.94	5,1	183,2	142,80	0,00	0,95	20,50	1,16	24,69	0,33	44,32	0,43	1,03	4,36	19,52	2,31	0,00	
96	01.02.94	5,4	89,7	78,80	0,00	2,52	15,84	3,07	14,11	0,56	29,00	0,00	0,75	3,39	12,80	1,50	0,00	
03	01.02.94	5,2	57,7	50,80	0,00	3,78	9,32	4,61	10,58	1,70	8,90	0,00	0,75	1,81	8,00	1,00	0,00	
156	01.02.94	5,3	74,5	62,40	0,00	5,15	8,39	6,28	14,11	0,38	11,83	0,00	0,75	1,58	10,40	1,50	0,00	
152	01.02.94	4,5	126,2	91,60	0,00	0,00	18,17	0,00	14,11	0,00	44,00	0,80	1,49	3,51	15,38	1,50	0,00	
150	01.02.94	5,3	334,3	206,40	0,00	6,42	45,66	7,83	42,33	0,00	89,26	0,53	3,73	8,83	39,33	1,98	0,00	
129	01.02.94	4,9	231,8	149,20	0,00	0,84	30,75	1,02	28,22	0,50	67,79	0,39	1,31	6,68	24,67	3,08	0,01	
75	07.02.94	5,3	186,9	138,20	0,00	4,20	21,43	5,12	26,46	1,15	40,41	0,45	2,98	3,40	21,18	2,08	0,00	
181	07.03.94	5,0	136,8	80,80	0,00	1,05	20,96	0,02	24,69	1,40	29,56	0,11	3,17	3,17	16,15	2,75	0,02	
180	07.02.94	5,2	185,4	85,60	0,00	3,68	21,43	4,49	19,40	2,13	49,41	0,45	2,98	3,40	20,00	4,17	0,00	
161	07.02.94	6,0	92,7	44,40	0,00	6,31	9,32	7,70	17,64	2,95	3,66	0,33	2,24	0,90	12,00	1,25	0,02	
171	08.02.94	5,8	570,0	396,40	0,00	47,45	96,91	57,89	52,94	0,49	160,79	1,12	21,63	10,41	66,66	2,08	0,02	
149	08.02.94	5,2	517,0	378,20	0,00	3,47	98,77	4,23	16,47	3,93	147,58	0,47	6,72	17,20	56,66	6,15	0,00	
123	08.02.94	5,4	49,4	49,2	0,00	1,26	2,80	1,54	8,81	0,00	2,19	0,00	0,56	0,33	5,83	0,50	0,01	

Melo (1995)

POÇO	DATA	pH	C µS/cm	Sólidos Totais 105°C, mg/l	ALCAL.		Dureza Total mg/l CaCO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	Fe	Ca	Mg	Na	K	P
					TA	TAC											
					mg/l CaCO ₃												
167	08.02.94	6,0	296,0	216,20	0,00	15,47	46,59	18,87	8,23	0,33	87,42	0,25	8,58	6,11	35,29	2,08	0,02
105	08.02.94	7,0	250,8	172,00	0,00	24,10	48,45	29,40	1,75	0,30	50,66	0,73	10,82	5,21	25,00	1,82	0,02
C-02	08.02.94	6,7	334,4	208,80	0,00	99,96	81,99	121,95	66,44	0,30	1,21	0,89	24,25	5,21	43,33	7,14	0,01
74	22.02.94	5,4	209,00	108,80	0,00	1,58	22,36	1,92	9,98	0,00	43,94	0,24	1,68	4,41	25,00	2,50	0,00
33	16.05.94	4,6	56,00	48,00	0,00	9,00	16,00	10,98	15,00	0,00	2,20	0,00	0,80	3,40	10,00	1,00	0,00
30	16.05.94	4,4	135,00	116,00	0,00	7,90	20,00	9,64	22,00	0,00	25,20	0,00	2,40	3,40	17,00	1,00	0,00
09	16.05.94	5,0	113,00	98,00	0,00	5,60	20,00	6,83	21,00	0,00	26,50	0,00	2,40	3,40	13,00	3,00	0,00
04	16.05.94	4,3	135,00	118,00	0,00	7,90	28,00	9,64	23,00	1,20	31,00	0,00	2,40	5,30	16,56	1,50	0,00
47	16.05.94	5,3	124,00	108,00	0,00	24,80	30,00	30,26	19,00	0,00	18,6	0,10	8,80	1,90	12,00	1,00	0,00
54	16.05.94	5,3	66,00	58,00	0,00	9,00	20,00	10,98	21,00	0,00	6,6	0,00	2,40	3,40	13,80	1,00	0,00
88	16.05.94	4,9	152,00	130,00	0,00	5,60	34,00	6,83	24,00	0,00	46,5	0,00	2,40	6,80	17,94	3,00	0,00
67	16.05.94	4,0	290,00	248,00	0,00	5,60	54,00	6,83	38,00	0,00	72,2	0,00	5,60	9,70	22,00	5,00	0,00

**Anexo 9.7 - Resultados de Análises de Metais Pesados Obtidos no Laboratório da CDM
(1994)**

Resultados de análises de metais pesados obtidos no laboratório da CDM

Melo (1995)

POÇO No.	LOCAL/ CAPTAÇÃO	DATA	METAIS PESADOS (ppm)					pH
			Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	
74	P-11A (Cap. Dunas)	24.01.94	0,0340	0,2840	0,1150	0,0000	0,0300	6,2
		22.02.94	0,0440	0,0360	0,0230	0,0340	0,0860	5,4
		15.03.94	0,0180	0,0000	0,0130	0,0010	0,0240	5,6
104	Refrigerante DORE	24.01.94	0,0412	0,0000	0,37240	0,0000	0,0000	5,7
		22.02.94	0,0292	0,1120	0,0554	0,0196	0,1970	5,1
		15.03.94	0,1460	0,0000	0,0132	0,0108	0,0456	5,1
110	Clube Recreativo da TELERN	24.01.94	0,0300	0,2776	0,0592	0,0000	0,0000	5,1
		22.02.94	0,1204	0,0000	0,0276	0,1056	0,1136	5,4
		15.03.94	0,0740	0,0000	0,0124	0,0026	0,0252	5,7
101	Viação Nordeste	24.01.94	0,0200	0,1736	0,0324	0,0000	0,0000	6,5
		22.02.94	0,0224	0,0520	0,0340	0,0480	0,1560	5,0
		15.03.94	0,0380	0,0000	0,0152	0,0060	0,0266	5,0
109	Queiroz e Melo	24.01.94	0,0260	0,1820	0,0280	0,0060	0,0260	6,6
		22.02.94	0,1570	0,0360	0,0140	0,0250	0,1510	4,4
		15.03.94	0,0980	0,0000	0,0140	0,0040	0,0240	4,5
107	FEBEM	24.01.94	0,0160	0,200	0,1080	0,0000	0,0000	6,0
		22.02.94	0,0950	0,0360	0,0350	0,0690	0,1230	4,3
		15.03.94	0,0100	0,0120	0,0620	0,0220	0,0000	5,4
106	Av. Cap. M. Golveia, 555	24.01.94	0,0630	0,2410	0,0500	0,0000	0,0000	4,9
		22.02.94	0,0070	0,0960	0,0500	0,0640	0,1560	5,2
		15.03.94	0,1000	0,0000	0,0130	0,0050	0,0280	5,1
100	Rodoviária Nova	24.01.94	0,240	0,2770	0,0360	0,0000	0,0000	4,5
		22.02.94	0,0110	0,0490	0,0570	0,0260	0,1400	4,5
		15.03.94	0,0960	0,0000	0,0030	0,0030	0,0300	5,0
182	SIPROFAR	24.01.94	0,0544	0,4736	0,0588	0,0000	0,0544	6,1
		22.02.94	0,0732	0,0040	0,0128	0,0604	0,1064	4,8
		15.03.94	0,054	0,0000	0,0104	0,0052	0,0232	5,0
158	Soriedem	24.01.94	0,0608	0,6720	0,1004	0,0000	0,0292	5,5
		22.02.94	0,0168	0,0330	0,0556	0,0380	0,1624	5,0
		15.03.94	0,0362	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000	5,2
68	P-5A (Cap Dunas)	01.02.94	0,0592	0,0660	0,1312	0,0000	0,0072	5,1
		01.03.94	0,0112	0,0640	0,0000	0,0960	0,0000	4,8
		22.03.94	0,0244	0,0000	0,0000	0,0062	0,0262	5,1
96	P-11 (Cap L. Nova II)	01.02.94	0,1216	0,1020	0,1536	0,0000	0,0486	5,4
		01.03.94	0,0044	0,0640	0,0000	0,0000	0,0000	5,4
		22.03.94	0,0368	0,0000	0,0000	0,0062	0,0270	5,4
03	P-03 (Cap. Pta. Negra)	01.02.94	0,0790	0,2760	0,1672	0,0000	0,1482	5,8
		01.03.94	0,0140	0,0640	0,0000	0,0960	0,0000	5,2

Melo (1995)

POÇO No.	LOCAL/ CAPTAÇÃO	DATA	METAIS PESADOS (ppm)					pH
			Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	
		22.03.94	0,0438	0,0000	0,0000	0,0100	0,0150	6,2
		01.02.94	0,1018	0,1800	0,2220	0,0000	0,2682	6,2
156	Alpargatas	01.03.94	0,0152	0,0320	0,0524	0,0068	0,0000	5,3
		22.03.94	0,0280	0,0000	0,0222	0,0082	0,0196	5,5
		01.02.94	0,1716	0,1200	0,2472	0,0000	0,4254	5,2
152	Simas	01.03.94	0,0152	0,0320	0,0000	0,1240	0,0000	4,5
		22.03.94	0,0348	0,0000	0,0000	0,0090	0,0152	5,0
		01.02.94	0,0500	0,0720	0,1550	0,0260	0,4610	5,3
150	S.A.A.B.	01.03.94	0,1390	0,0960	0,0000	0,0960	0,0000	4,0
		22.03.94	0,0080	0,0000	0,0000	0,0030	0,040	4,4
		01.02.94	0,1578	0,2700	0,1816	0,0000	0,3888	4,9
129	Confecções Guararapes	01.03.94	0,0236	0,0480	0,0000	0,1090	0,0000	4,9
		22.03.94	0,0382	0,0000	0,0000	0,0082	0,0514	6,3
		07.02.94	0,0450	0,0960	0,1700	0,0000	0,0960	5,3
75	P-12 (Cap. Dunas	08.03.94	0,0060	0,0000	0,0230	0,0010	0,02260	5,2
		28.02.94	0,0840	0,1020	0,0090	0,0080	0,0000	5,8
		07.02.94	0,0636	0,0384	0,1640	0,0000	0,0576	6,1
181	Casa de Saúde Natal	07.03.94	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000	5,0
		28.02.94	0,0178	0,0160	0,0000	0,0038	0,0048	5,3
		07.02.94	0,0834	0,1860	0,1600	0,0000	0,1272	5,2
180	Floricultura Marina	07.03.94	0,0060	0,0000	0,0000	0,0040	0,0000	5,3
		28.02.94	0,0792	0,0540	0,0152	0,0062	0,0000	5,9
		07.02.94	0,0138	0,2040	0,2152	0,0000	0,1392	6,0
161	Clube dos Taxistas	07.03.94	0,0062	0,0000	0,0372	0,0020	0,0000	5,5
		28.02.94	0,0490	0,0700	0,0000	0,0028	0,0000	6,2
		08.02.94	0,0018	0,2580	0,1852	0,0000	0,4524	5,2
149	Posto Natal (no. 06)	07.03.94	0,0031	0,0000	0,1510	0,0006	0,0000	5,2
		28.02.94	0,0470	0,0000	0,0000	0,0012	0,0026	5,4
		08.02.94	0,0642	0,4860	0,1864	0,0000	0,5586	6,1
123	Motel Deville	08.03.94	0,0000	0,0220	0,1634	0,0014	0,0000	4,5
		28.02.94	0,0768	0,0280	0,0000	0,0072	0,0034	5,4
		08.02.94	0,0060	0,2220	0,1808	0,0000	0,1086	6,0
167	Posto 1003	07.03.94	0,0032	0,0000	0,0300	0,0030	0,0000	4,5
		28.02.94	0,0756	0,0420	0,0000	0,00060	0,0000	4,5
		08.02.94	0,0996	0,2160	0,2120	0,0000	0,3666	6,7
C-02	Rua Afonso Magalhães Pta. Negra	07.03.94	0,0286	0,0000	0,0284	0,0030	0,0000	6,3
		28.02.94	0,0682	0,0780	0,0000	0,0132	0,0080	6,2