

## DEDICATORIA

À memória do meu pai  
Albino Banguija Muchimbane.

À minha mãe Laurina Chinguana Gundana;  
à Yolanda, Albino, Lilliane e A. Júnior.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho tornou-se possível graças à contribuição de muitas pessoas e instituições, que com ensinamento, orientação, apoio econômico e social me proporcionou o estímulo e fé para chegar à meta final. Devo gratidão a todos sem querer hierarquizar:

Ao professor Doutor Uriel Duarte, que com alto grau de profissionalismo, humanismo e paciência, soube dedicar seu tempo e conhecimento, me orientar para se alcançar os objetivos deste trabalho.

Ao CNPq e ao Ministério de Ciência e Tecnologia de Moçambique pela concessão da bolsa de estudos.

À Direção Nacional de Geologia de Moçambique, pelo apoio financeiro para trabalho de campo.

À minha família pelo incentivo e apoio moral.

À COSEAS pelo alojamento e aos amigos do conjunto residencial da USP-CRUSP pela boa convivência.

Aos colegas do Instituto de Geociências que direta ou indiretamente proporcionaram a minha inserção acadêmica: Fernando Saraiva, Rejane G. da Rocha, Estevão e Filipe.

À Sibeles Ezaki pelos comentários e sugestões do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia do IGc da Universidade de São Paulo: Prof. Doutor Alberto Pacheco, Reginaldo Bertolo, Raphael Hypólito, Fabio Taioli, Jose Domingos Faraco Gallas pelos conhecimentos transmitidos.

Aos trabalhadores da Pós-Graduação e da Biblioteca do IGc: Ana Paula, Tadeu, Paulinho e Stela pelo apoio prestado.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<i>i</i>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<i>ii</i>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<i>iv</i>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<i>vii</i>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<i>viii</i>
<b>LISTA DE FOTOS</b> .....	<i>ix</i>
<b>RESUMO</b> .....	<i>x</i>
<b>ABSTRACT</b> .....	<i>xii</i>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<i>1</i>
<b>1.1. Generalidades</b> .....	<i>1</i>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<i>5</i>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<i>6</i>
<b>2.1 Saneamento Básico</b> .....	<i>6</i>
2.1.1 Sistemas de Saneamento “In Situ” .....	<i>9</i>
2.1.2 Proteção das Águas Subterrâneas.....	<i>12</i>
2.1.3 Poluição e Contaminação das Águas Subterrâneas .....	<i>14</i>
2.1.4 Vulnerabilidade do Aqüífero .....	<i>15</i>
<b>2.2 Indicadores de Contaminação das Águas Subterrâneas</b> .....	<i>16</i>
2.2.1 Nitrogênio .....	<i>17</i>
2.2.1.1 Nitrogênio no Solo e nas Águas Subterrâneas .....	<i>23</i>
2.2.1.2 Risco à Saúde Humana relacionado a Nitrato .....	<i>26</i>
2.2.2 Microrganismos Patogênicos .....	<i>27</i>
<b>2.3 Técnicas de Remoção do Nitrato e dos Microrganismos</b> .....	<i>31</i>
2.3.1 Microrganismos .....	<i>32</i>
2.3.2 Nitrato.....	<i>34</i>
<b>3. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<i>42</i>
<b>3.1 Caracterização Geral</b> .....	<i>42</i>
<b>3.2 Localização e acesso a Área de Estudo</b> .....	<i>47</i>

<b>3.3 População e Ocupação do Solo .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4 Geomorfologia do Município de Maputo .....</b>	<b>49</b>
<b>3.5 Geologia do Município de Maputo e da Área de Estudo .....</b>	<b>49</b>
<b>3.6 Águas Subterrâneas .....</b>	<b>54</b>
<b>3.7 Clima .....</b>	<b>54</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1 Levantamento Institucional de Dados .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2 Cadastro de Poços rasos e Tubulares .....</b>	<b>56</b>
<b>4.3 Amostragem e Análise da Água de Abastecimento .....</b>	<b>58</b>
<b>5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1 Levantamento de dados.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2 Abastecimento de Água, Cadastro de Poços rasos e Tubulares .....</b>	<b>60</b>
<b>5.3 Características Técnicas de Construção de um Poço Tubular.....</b>	<b>61</b>
<b>5.4 Aspectos de Proteção Sanitária dos Poços de Captação.....</b>	<b>62</b>
<b>5.5 Características Técnicas de Construção de Poços Rasos .....</b>	<b>68</b>
<b>5.6 Esgotamento Sanitário.....</b>	<b>72</b>
<b>5.7 Hidroquímica.....</b>	<b>73</b>
5.7.1 Validade das Análises .....	74
5.7.2 Resultados Laboratoriais.....	77
5.7.2.1 Parâmetros físico-químicos .....	77
5.7.2.2 Parâmetros Bacteriológicos.....	85
5.7.3 Qualidade Química da Água do Aquífero Freático.....	86
<b>6. SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.....</b>	<b>89</b>
<b>6.1 Soluções Individuais .....</b>	<b>89</b>
<b>6.2 Soluções Coletivas .....</b>	<b>92</b>
<b>7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>95</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>

**ANEXO 1- LAUDOS LABORATORIAIS DAS ANÁLISES QUÍMICAS E  
BACTERIOLÓGICAS DE AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....105**

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1-</b> Esquema de funcionamento duma fossa séptica (FUNASA, 2004). .....	10
<b>FIGURA 2.2-</b> Fossa séptica comum/latrina (FUNASA, 2004). .....	11
<b>FIGURA 2.3-</b> Modelo conceitual da contaminação da água subterrânea por sistema de saneamento “in situ” (modificado de FEITOSA et al., 2008). .....	11
<b>FIGURA 2.4-</b> Ciclo do nitrogênio (USEPA, 1994 apud CANTER, 1997). .....	17
<b>FIGURA 2.5-</b> Diagrama de equilíbrio Eh-pH para o sistema Nitrogênio à 25°C ( $P_{N_2} = 0.77$ atm- APPELO & POSTMA, 2005). .....	20
<b>FIGURA 2.6-</b> Equilíbrio amônio - amônia em função do pH (KLEE, 1975 apud FENZL, 1988). .....	21
<b>FIGURA 2.7-</b> Comportamento das espécies de nitrogênio em subsuperfície (modificado de FREEZE & CHERRY, 1979). .....	24
<b>FIGURA 2.8-</b> Esquema ilustrando o sistema de troca iônica numa única coluna (extraído de DAHAB & BOGARDI, 1990). .....	37
<b>FIGURA 2.9-</b> Fluxo digrama para a osmose reversa (extraído de CANTER, 1997). .....	39
<b>FIGURA 2.10-</b> Princípio de funcionamento da eletrodialise (extraído de HELL et al., 1998). .....	40
<b>FIGURA 3.1-</b> Localização continental de Moçambique; e divisão administrativa de Moçambique. ....	45
<b>FIGURA 3.2-</b> Esboço geológico de Moçambique e Províncias hidrogeológicas de Moçambique (FERRO & BOUMAN, 1987). .....	46
<b>FIGURA 3.3-</b> Localização da área de estudo. ....	48
<b>FIGURA 3.4-</b> Principais unidades geológicas que afloram na cidade de Maputo (modificada de MOMADE, et al., 1996). .....	52
<b>FIGURA 3.5-</b> Seção geológica da área de estudo. ....	53
<b>FIGURA 3.6-</b> Precipitações e temperaturas médias mensais (1977– 2006). .....	55
<b>FIGURA 4.1-</b> Ficha de cadastro de poços e fossas sépticas. ....	57
<b>FIGURA 5.1-</b> Localização dos pontos de amostragem. ....	63
<b>FIGURA 5.2-</b> Mapa de isoconcentração de Nitrato. ....	84
<b>FIGURA 5.3-</b> Diagrama de Piper. ....	87

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1-</b> Cobertura dos serviços de água potável e saneamento por regiões no Mundo em porcentagem (JOURAVLEV, 2004). .....	7
<b>TABELA 2.2-</b> Relação entre espécies de nitrogênio em subsuperfície e seus respectivos estados de oxidação (STUMM & MORGAN, 1996; CANTER, 1997). .....	18
<b>TABELA 2.3-</b> Patógenos encontrados nas fezes humanas (FUNASA, 2004). .....	28
<b>TABELA 2.4-</b> Dosagem aplicada na desinfecção de água em pequenos reservatórios. ....	34
<b>TABELA 3.1-</b> Valores das precipitações (mm) e temperaturas médias mensais (°C). ..	55
<b>TABELA 5.1-</b> Situação atual dos poços. ....	61
<b>TABELA 5.2-</b> Limites Máximos Admissíveis para os padrões de potabilidade da água para consumo humano (MISAU, 2004; Portaria MS n. 518/2004 e WHO, 2007). .....	74
<b>TABELA.5.3-</b> Resultados das análises físico-químicas das Águas Subterrâneas. ....	75
<b>TABELA 5.4-</b> Resultados das análises bacteriológicas das águas subterrâneas. ....	85
<b>TABELA 5.5-</b> Classificação do tipo de Água (DAVIS & DE WIEST, 1967). .....	86
<b>TABELA 5.6-</b> Cátions e ânions maiores em % de meq/L e classificação da água. ....	88

## LISTA DE FOTOS

<b>FOTO 1-</b> Poço instalado junto de uma fossa séptica. ....	64
<b>FOTO 2-</b> Poço localizado onde existe acúmulo de lixo. ....	64
<b>FOTO 3-</b> Exemplo de um poço sem selo e laje sanitária. ....	65
<b>FOTO 4-</b> Poço sem cimentação, laje e tampa de proteção. Observa-se a saliência o tubo de revestimento está ao nível do solo e com o acúmulo de lixo ao redor dele.....	65
<b>FOTO 5-</b> Poço com deficiências técnicas de construção devido à falta de cimentação, laje de proteção e a saliência do tubo de revestimento abaixo da superfície.....	66
<b>FOTOS 6, 7 e 8-</b> Poços desativados sem laje, selo sanitária e tampa para prevenir possível contaminação. ....	67
<b>FOTOS 9,10 e 11-</b> Poços rasos revestidos de material não adequado e sem o mínimo e estrutura de proteção. ....	69
<b>FOTO 12-</b> Poço raso abandonado que virou depósito de lixo.....	70
<b>FOTOS 13 e 14-</b> Fotos ilustrando uma situação em que falta de tampa do poço potenciam a contaminação direta da água subterrânea. Várias pessoas introduzem no poço ao mesmo tempo o sistema balde-corda sobre condições de higiene precárias...	71
<b>FOTO 15-</b> Estado que se encontra o tipo de sistema de saneamento “in situ” na área de estudo.....	72

## RESUMO

O Distrito Urbano 4 da cidade de Maputo, Moçambique, está assentado sobre sedimentos Tércio - Quaternários. Esse apresentou um crescimento populacional durante o período do conflito civil (1976-1992) tendo mostrado nesse período uma ocupação irregular, com fraco sistema de saneamento básico.

O suprimento hídrico na área de estudo é feito pela captação de águas subterrâneas do aquífero freático vulnerável, em poços cacimbas e tubulares. O risco de contaminação dessas águas aumenta devido o uso de sistemas de saneamento "in situ".

Foram cadastrados na área 147 poços (101 tubulares e 46 cacimbas), mas, para as análises de parâmetros indicadores de contaminação, foram coletadas amostras de água em 26 poços (20 tubulares e 6 rasos).

O estudo hidroquímico concluiu que as águas são principalmente cloretada-sódicas e secundariamente cloretada-magnésiana e bicarbonatadas-sódicas.

Os resultados das análises químicas e bacteriológicas indicaram contaminação das águas subterrâneas por sistemas de disposição de esgotos domésticos "in situ".

Foi observada uma alta concentração de  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  e ocorrência de microrganismos. As concentrações do  $NH_4^+$  atingiram valores de até 1,66 mg/L e as do  $NO_3^-$  chegaram até 178,9 mg/L, acima do padrão de potabilidade (0,05 mg/L e 45 mg/L, respectivamente).

Os coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos fecais e escherichia coli foram encontrados em muitas amostras analisadas com valores muito acima do permitido por lei.

A vulnerabilidade dos aquíferos na área é agravada pela existência de vários poços (tubulares e rasos) incorretamente construídos ou inadequadamente desativados e à proximidade fossa-poço.

Para minimizar a contaminação do aquífero freático, recomenda-se o estabelecimento de normas de construção para exploração das águas subterrâneas, com todas as medidas de proteção sanitária; implantação de sistemas alternativos de tratamento de esgoto bem construídos; criação de um instrumento de fiscalização de

obras de captação e do direito de uso de água subterrânea, capaz de garantir a proteção dos aquíferos e a qualidade das águas subterrâneas; elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos e a delimitação dos perímetros de proteção de poços de abastecimento de águas subterrâneas.

Atualmente, para minimização dos efeitos da injeção da água de abastecimento na área de estudo, recomenda-se orientar a população à fervura da água durante 15 minutos e a sua desinfecção por compostos de cloro para eliminar as bactérias, medida de fácil aplicação e baixo custo.

**Palavras-chaves:** Sistemas de saneamento “in situ”, Contaminação, Águas Subterrâneas.

## ABSTRACT

The Urban District 4 was built on Tertiary and Quaternary sediments, localized in the city of Maputo, Mozambique, the place where a civil conflict took place from 1976 to 1992. Since then, the area has experienced an irregular settlement and a considerable growth of the population, resulting in an inappropriate and insufficient sanitation system.

The water supply in the study area is maintained by vulnerable aquifers, ponds and tube wells. The risk of groundwater contamination is increased by the use of in situ sanitation systems.

Although a number of 147 water wells were enrolled in the the area (101 tube wells and 46 ponds), we collected water samples from 26 wells (20 shallow tube and 6) in order to analyze indicative parameters of contamination.

The hydrochemical study concluded that the water is primarily chlorinated, and secondarily sodium chloride-and magnesium-sodium bicarbonate.

The results of bacteriological and chemical analysis indicated a groundwater contamination, which comprises domestic in situ wastewater related to the existence of deficient disposal systems.

During the present study a high concentration of  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  and micro-organisms has been observed. The concentrations of  $NH_4^+$  reached values up to 1.66 mg / L and those of  $NO_3^-$  reached 178.9 above the potable water guideline (0.05 mg / L and 45 mg / L, respectively).

The fecal coliform bacteria, total coliforms, fecal streptococci and Escherichia coli were found in many samples with values much higher than allowed by the law.

The aquifers vulnerability in the area is enhanced by two main points: (1) the existence of many wells (shallow and deep), improperly constructed or disabled and (2) the proximity of pit-pit.

In order to minimize the contamination on the aquifer, it is recommended: the establishment of a construction standard for the use of groundwater, with the inclusion of health protection measure; deployment of alternative and well designed sewage treatment plant; creation of a system to monitor the capture and the right of use of the groundwater, which can guarantee the protection of aquifers and groundwater quality;

development of a map comprising the aquifers natural vulnerability to contamination and the definition of perimeter to protect the wells designed for groundwater supply.

Currently, to minimize the effects of the infestation of water supply in the study area, it is recommended to guide the population to boil water for 15 minutes and disinfection by chlorine compounds to eliminate the bacteria, so easy to use and low cost.

Keywords: in situ sanitation systems, Contamination, Groundwater.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Generalidades

As águas subterrâneas cumprem uma função importante em inúmeros casos, vital para o fornecimento de água potável em muitas áreas urbanas e rurais no mundo. O consumo destas águas nas inúmeras atividades humanas (industrial, comercial e mesmo doméstica) gera resíduos, dentre os quais se destaca os esgotos.

A disposição ou lançamento inadequado destes resíduos nos corpos de água ou no solo, ou mesmo a falta de manutenção e melhoria dos sistemas de saneamento podem acarretar a poluição das águas subterrâneas, alterando sua qualidade e tornando-as inadequadas para determinados usos.

Os sistemas de abastecimento de água e de saneamento de esgoto sanitário vêm se desenvolvendo ao longo da história das sociedades, estando sempre relacionados à manutenção da saúde.

As obras de saneamento básico são investimentos importantes, com grandes implicações na economia dos países, pois, além dos serviços básicos para o bem estar social, seu desenvolvimento produz também, novas riquezas com o surgimento de atividades industriais ligadas ao setor.

A ausência de condições adequadas de esgotamento sanitário é o grande vilão das águas subterrâneas. É indiscutível a relação existente entre problemas de saúde pública e os sistemas de saneamento básico- água limpa e tratada e coleta e tratamento de esgoto sanitário.

Constata-se que nos países em desenvolvimento, a maior parte das cidades não dispõe de esgotamento sanitário de rede coletora e estação de tratamento de esgoto. Em muitos casos, as áreas urbanas são atendidas parcialmente. O sistema mais usual como consequência são as fossas sépticas e as latrinas.

Os sistemas de saneamento “in situ” (latrinas e fossas sépticas) são as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas em muitos países, principalmente por microrganismos patogênicos e compostos de nitrogênio (nitrato, nitrito e amônio). O nitrogênio dissolvido na forma de nitrato é o contaminante mais comum encontrado na água subterrânea.

As águas contaminadas podem difundir doenças infecciosas ao Homem causadas por patógenos como a febre tifóide e paratifóide, cólera, disenteria bacilar, hepatite e, por substâncias químicas (nitrato) como a methamoglobinemia e câncer.

As águas são consideradas maléficas quando as concentrações do  $NO_3^- - N$  são superiores a 10 mg/L ( $\approx 45$  mg/L  $NO_3^-$ ) pela Portaria MS nº 518/2004- Brasil. No entanto para a World Health Organization (WHO-2007), Ministério da Saúde de Moçambique (MISAU-2004), estas concentrações podem atingir valores de até 11,3 mg/L  $NO_3^- - N$  ( $\approx 50$  mg/L  $NO_3^-$ ).

Em 1984, no relatório do Senado Americano “Protegendo as águas subterrâneas”, foram listadas mais de 30 fontes potenciais de contaminação divididas em 06 categorias principais. As fossas sépticas aparecem, entre outras, na primeira categoria, como fontes de contaminação (FETTER, 1999).

Estudos do Banco Mundial para água e saneamento mostraram que o saneamento deficiente constitui um atraso para as economias dos países. Segundo a mesma organização, no Brasil morrem 29 pessoas/dia por doenças decorrentes da má qualidade da água e do não tratamento de esgotos e estima-se que cerca de 70% dos leitos dos hospitais estão ocupados por pessoas que contraíram doenças transmitidas pela água (DNA, 2008).

Em nível mundial, as doenças de veiculação hídrica, como a diarreia, são responsáveis por mais de 3 milhões de mortes por ano (HELMER, 1999).

Moçambique, com uma população de 20.530.714 habitantes ([www.ine.gov.mz](http://www.ine.gov.mz)), mais da metade não tem acesso aos dois serviços básicos para a saúde e os resultados refletem-se nas doenças diarreicas que vitimam crianças nos primeiros anos de vida e nas terríveis epidemias de cólera que fustigam as mais pobres nas zonas rurais e Peri - urbanas (MOÇAMBIENTE, 2002).

Uma grande migração da população para as cidades e vilas de Moçambique, em parte resultante da prolongada guerra civil (1976-1992), sobrecarregou a fraca capacidade do sistema básico, originalmente projetado para uma população muito menor.

Este trabalho tem como proposta avaliar os impactos gerados pelo uso de sistemas de saneamento “in situ” na qualidade das águas subterrâneas de poços situados no extremo centro-oeste do Distrito Urbano 4, do Município de Maputo, Moçambique. Nesta área habitam 293.361 pessoas, que são abastecidas totalmente por águas subterrâneas, captadas nos vulneráveis aquíferos freáticos e, sem rede de coleta e tratamento de esgotos, sendo assim utilizado o sistema de disposição “in situ”, mediante o uso generalizado de latrinas e fossas sépticas.

As águas subterrâneas constituem importante fonte de abastecimento em recursos hídricos para a população local, seja por meio de poços cacimbas ou tubulares profundos. Consta-se, entretanto, a ausência de dispositivos técnico-legais (mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação das águas subterrâneas, normas técnicas para construção e operação de sistemas de saneamento “in situ”, e normas de construção de poços para captação de águas subterrâneas), que ajudam a regular e fiscalizar o uso do meio físico e a proteger os aquíferos, vêm propiciando o risco a qualidade das águas subterrâneas.

Estudos feitos no Brasil e em outras partes do mundo, revelaram que o uso dos sistemas de saneamento “in situ”, contribuem como fontes de contaminação em aquíferos freáticos, sobretudo em áreas de grande densidade populacional.

MELLO (1995), observou na cidade de Natal que nos lugares de elevada concentração populacional, os níveis de nitrato nas águas subterrâneas atingiram mais de 100 mg/L, enquanto que nos setores menos habitados, os teores foram inferiores a 10 mg/L.

FERREIRA (1992) identificou que as águas subterrâneas exploradas no aquífero freático na Favela Vila Niza, Município de Campinas-SP continham elevada contaminação bacteriana e por nitrogênio devido ao sistema de saneamento “in situ” e à proximidade fossa/poço.

FERREIRA (1999), no estudo efetuado no Jardim São Domingos, no Município de Campinas-SP, próximo ao aeroporto de Viracopos, indicou a contaminação das águas subterrâneas principalmente por bactérias heterotróficas e de coliformes totais que apresentaram valores muito acima do permitido.

FARIÑA LARROZA (2001), no trabalho realizado na área urbana rural de Neu Halbstadt (Chaco-Paraguai), concluiu que as águas subterrâneas continham alto conteúdo de bactérias coliformes e alto conteúdo de nitrato, respectivamente, 101 a 2.250 colônias e 0,5 a 254 mg/L- $NO_3^-$ . A contaminação era de natureza local, principalmente de origem fecal cujas fontes eram latrinas e fossas devido à proximidade dos poços em relação aos currais, fossas sépticas e latrinas e de algum modo de água superficial poluída.

## 1.2 Objetivos

- Avaliar os impactos gerados pelo uso de sistemas de saneamento “in situ” nas águas subterrâneas do aquífero freático, do ponto de vista bacteriológico e químico (compostos de nitrogênio), no extremo centro-oeste do Distrito Urbano 4 da cidade de Maputo-Moçambique.
- Propor recomendações para minimizar a contaminação das águas subterrâneas na área investigada.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Saneamento Básico

Segundo a OMS (JORDÃO & PESSOA, 1995), entende-se por Saneamento, o controle de todos os fatores do meio físico do Homem que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre o bem estar- físico, mental e social.

A lei nº 7.750 de 31/03/1992 do Estado de São Paulo-Brasil, considera Saneamento Básico, como as ações, serviços e obras consideradas prioritárias em programas de saúde pública, notadamente o abastecimento público de água e a coleta e tratamento de esgotos.

As águas subterrâneas têm um importante papel como fonte para abastecimento das populações e de suas atividades econômicas, estéticas e recreativas, ao mesmo tempo em que é fator essencial de conservação do meio ambiente, em especial da umidade do solo, base do desenvolvimento da biomassa (REBOUÇAS, 1999).

Durante séculos a água foi considerada um bem público de quantidade infinita, à disposição do Homem por se tratar de um recurso natural auto-sustentável pela sua capacidade de autodepuração. Porém, o crescimento das cidades aumentou de tal forma a quantidade de esgotos lançados nos solos próximos às aglomerações, que a capacidade de autodepuração desses corpos receptores foi superada pela carga poluidora dos efluentes.

Segundo estimativas da UNESCO (1992), no período de 1970-1995 foram perfuradas no mundo cerca de 300 milhões de poços. Essas obras fornecem água subterrânea para o abastecimento de mais de 50% da população do planeta e para irrigação de aproximadamente 90 milhões de hectares.

Os Estados Unidos perfuram em média 400.000 poços por ano, com os quais garantem a irrigação de 13 milhões de hectares e o suprimento hídrico de 39% dos serviços municipais de água e de 75% da população rural. A exploração de água subterrânea naquele país, em 1990 foi de 300 milhões de m<sup>3</sup> dos quais 200 milhões em apenas sete Estados: Califórnia, Texas, Nebraska, Idaho, Kansas, Arizonas e Flórida (SOLLEY; PIERCE; PERLMAN, 1993).

Na cidade de México, uma população de ordem de 16 milhões de habitantes tem suas necessidades hídricas atendidas por poços, com uma descarga total estimada em 50 m<sup>3</sup>/s ou cerca de 1,5 bilhões de m<sup>3</sup>/ano (GARDUÑO; ARREGUIN-CORTES, 1994).

Na Comunidade Econômica Européia, 75% dos sistemas públicos de abastecimento d'água utilizam água subterrânea, sendo que em alguns países como Dinamarca, Suécia, Bélgica, Alemanha e Áustria, esse percentual chega a superar os 90%.

Na Austrália, estimativas de HEBERMEHL 1985, (apud FEITOSA, 1997), indicaram a existência de 400.000 poços produzindo algo como três bilhões de m<sup>3</sup> de água subterrânea, para o abastecimento público e irrigação, sobretudo nas regiões sudeste e sudoeste.

A importância do abastecimento da água e saneamento para a saúde é uma necessidade básica. As pessoas sem acesso ao abastecimento adequado de água e saneamento seguro correm maior risco de doenças transmitidas pela água. No entanto, em 1994, aproximadamente 1,11 bilhões de pessoas nos países em desenvolvimento não tinham acesso à água potável e 2,87 bilhões aos serviços de saneamento adequado. Em nível mundial, ou seja, incluindo países desenvolvidos e países em transição econômica, 20% da população mundial não tinham acesso à água potável e 50% não tinham o saneamento adequado (HELMER, 1999).

Segundo JOURAVLEV (2004), os dados da OMS/UNICEF (2000) (TABELA 2.1), mostram as diferenças de cobertura em água e saneamento em vários países no mundo. A região menos servida pelo saneamento e água é África seguida da Ásia.

**TABELA 2.1- Cobertura dos serviços de água potável e saneamento por regiões no Mundo em porcentagem (JOURAVLEV, 2004).**

	Água potável			Saneamento			Tratamento de Águas servidas
	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total	
África	85	47	62	84	45	60	0
América Latina e Caribe	93	62	85	87	49	78	14
América do Norte	100	100	100	100	100	100	90
Ásia	93	75	81	78	31	48	35
Europa	100	87	96	99	74	92	66
Oceania	98	63	88	99	81	93	a

Aproximadamente 62% da população africana contam com serviços de água potável. Quanto ao sistema dos serviços de saneamento, 60% da população possuem algum tipo de saneamento.

Segundo WRI (1998), em algumas cidades africanas, a porcentagem de residências urbanas com ligação de água e esgotamento sanitário é tão baixo como 13% e 1%, por exemplo, para a cidade de Bangui, na República Centro Africano, com uma população urbana de 471.000 habitantes e a cidade de Monróvia, na Libéria, com 962.000 habitantes na área urbana, respectivamente. Lagos na Nigéria, com 10.287.000 habitantes na área urbana, tinha 65% de residências com ligações de água e 1% com esgotamento sanitário.

De acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde, as taxas de cobertura dos sistemas de abastecimento de água e de coleta de esgotos na região que engloba as três Américas (Norte, Central e do Sul) correspondem a cerca de 83% e 59%, respectivamente (PHILIPPI jr, 2005).

No caso dos sistemas de esgotamento sanitário na América Latina e Caribe, aproximadamente 49% da população rural dispõe de rede de coleta de esgoto e pelo menos 30% dispõem de sistemas “in situ”, como tanques sépticos, fossa negra, entre outros (OPAS, 2001 apud JOURAVLEV, 2004).

Em Moçambique, a falta de controle na utilização da água subterrânea dificulta a obtenção de estimativa isenta de erros significativos, mesmo assim, os dados disponíveis revelam que grande parte da população vive na área rural (61%), cuja principal fonte para abastecimento de água nessas zonas são os poços (WE CONSULT, 2005).

Na área de estudo as comunidades são abastecidas em 100% por águas subterrâneas, captadas no aquífero freático por poços rasos e tubulares, e se utilizam dos sistemas de saneamento “in situ” também em 100%.

### 2.1.1 Sistemas de Saneamento “In Situ”

O saneamento “in situ” é o tipo de sistema praticado em áreas sem rede de esgoto que pode oferecer níveis adequados de serviço para disposição de excretas humanas em pequenas comunidades e inclusive em grandes áreas urbanas, a um custo muito mais reduzido se comparado aos sistemas de esgoto com tubulações.

Como alternativa de tratar o esgoto doméstico sem comprometer a qualidade das águas subterrâneas, a eficiência dos sistemas de saneamento “in situ” está relacionado à: (1) características construtivas (características intrínsecas); (2) propriedades do terreno onde eles estão instalados (características extrínsecas); (3) manutenção dos sistemas e (4) quantidade por unidade de área. A sua precariedade, na prática, traduz-se na disposição inadequada dos excretos humana, muitas vezes diretamente no aquífero.

Segundo ROSSIN & SANTOS, 1987 (apud CAVALCANTI, 1996) e PHILIPPI Jr, (1992), existem vários tipos de instalações, que dispõem as excretas no próprio local de sua produção e podem ser classificadas basicamente em dois grupos: (1) os sistemas do tipo úmido (utilizam o transporte hídrico) e (2) os sistemas do tipo seco (dispensam um transporte hídrico), respectivamente.

Em função das características intrínsecas e extrínsecas, as instalações dos sistemas de saneamento “in situ” mais utilizadas são:

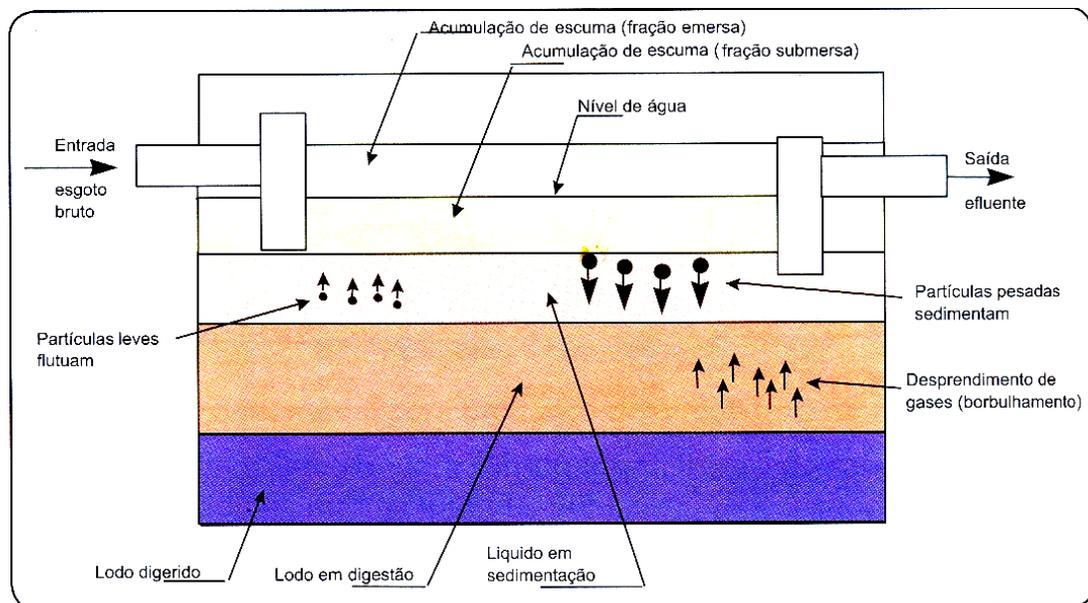
- Fossas sépticas - são câmaras fechadas com a finalidade de deter os dejetos domésticos, por um período de tempo estabelecido, de modo a permitir a decantação dos sólidos e retenção do material graxo contido nos esgotos transformando-os bioquimicamente, em substâncias e compostos mais simples e estáveis. Esse sistema na maioria das vezes requer o uso de água (FIGURA 2.1). No Brasil, a construção da fossa séptica obedece a normas técnicas da ABNT, como por exemplo, a norma NBR-7.229, de 1993.

- Fossa comum/latrina- compreende a casinha e o buraco escavado no solo, destinada a receber somente os excretos, ou seja, não dispõe de veiculação hídrica (FIGURA 2.2). As fezes retidas no interior se decompõem ao longo do tempo pelo processo de digestão anaeróbia.

Se o buraco estiver na zona não saturada do solo é denominada fossa seca. Em caso contrário é dito úmido ou de fossa negra (FIGURA 2.3).

Sob certas condições hidrogeológicas, várias unidades de saneamento “in situ” apresentam um risco de migração direta de poluentes para aquíferos freáticos e para fontes de captação de águas subterrâneas.

Segundo PHILIPPI jr. (1992), a escavação da fossa comum negra não deve exceder 1,50 m do nível freático e deve ser localizada no mínimo a 15,0 m da distância dos suprimentos de água. Estes valores são somente indicativos, pois diferentes litologias terão diferentes condutividades hidráulicas e estes causarão diferentes tempos de trânsitos da carga contaminante (microrganismos e nutrientes) nas águas subterrâneas.



**FIGURA 2.1- Esquema de funcionamento duma fossa séptica (FUNASA, 2004).**

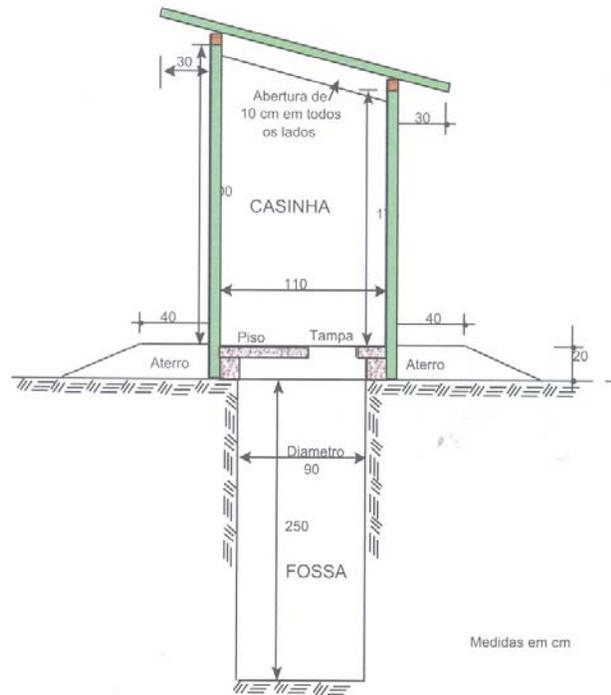


FIGURA 2.2- Fossa séptica comum/latrina (FUNASA, 2004).

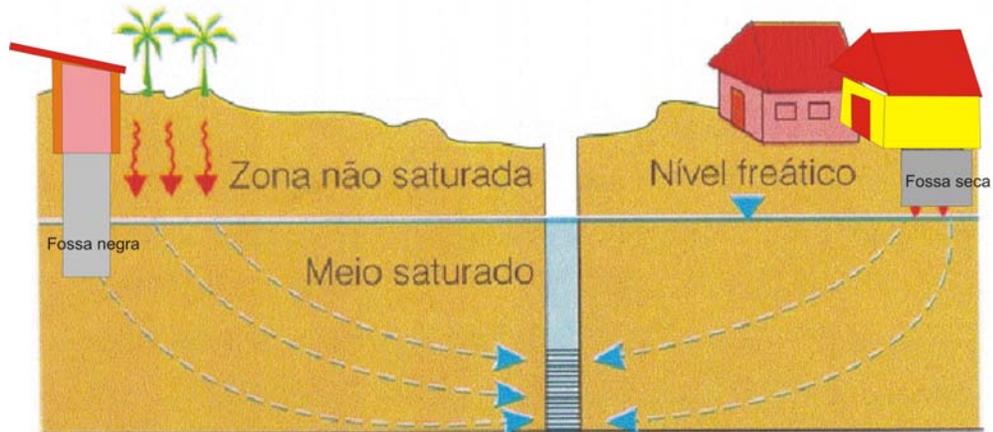


FIGURA 2.3- Modelo conceitual da contaminação da água subterrânea por sistema de saneamento “in situ” (modificado de FEITOSA et al., 2008).

## 2.1.2 Proteção das Águas Subterrâneas

Apesar de constituírem patrimônio da humanidade, as águas subterrâneas, ainda não recebem a devida atenção quanto à sua proteção para evitar a degradação de sua qualidade.

O uso das fossas sépticas e latrinas próximas a lugares onde se tem instalados poços, aliado ao fato de existirem poços mal construídos, sem qualquer medida de proteção, constituem as principais fontes de poluição das águas subterrâneas no meio urbano e suburbano. No meio rural, os riscos são gerados, principalmente, pelo intensivo e desordenado uso de fertilizantes na agricultura, que em excesso pode propiciar degradação da qualidade das águas subterrâneas, pela recarga dos aquíferos.

A descontaminação total das águas subterrâneas normalmente envolve restrições técnicas e altos custos, além de ser um procedimento demorado.

Os programas de proteção da qualidade das águas subterrâneas mais comuns, adotados em vários países, envolvem duas condutas básicas: uma voltada ao sistema de captação, estabelecendo-se ao redor do mesmo uma área de proteção (APFs) ou perímetro de proteção de poços (PPPs), e outra voltada para o aquífero, portanto, mais abrangente, onde são estabelecidas restrições de uso e ocupação da terra para atividades potencialmente contaminantes.

As duas medidas são necessárias para uma proteção completa. No entanto, a segunda é menos praticável ou economicamente inviável, em virtude das pressões socioeconômicas para o desenvolvimento.

A legislação internacional, incluindo a brasileira (Decreto do Estado de São Paulo nº 32.955 de 07/02/1991), sobre os PPPs, estabelece no entorno dos poços de exploração de água subterrânea, a subdivisão da zona de captura em três níveis de proteção (PACHECO, 1984). Essa subdivisão poderia basear-se em vários critérios, incluindo distância horizontal, tempo de trânsito horizontal, proporção da área de recarga, diluição na zona saturada e/ou capacidade de atenuação.

Estudos realizados com recarga artificial de aquíferos, para verificação do fator de decaimento de vírus e bactérias patogênicas, revelaram que a distância de decaimento é intrínseca ao meio geológico pesquisado, enquanto que o tempo de trânsito do decaimento independe do meio geológico, sendo função do tempo de vida

nesse meio subterrâneo. Assim, a utilização do tempo de decaimento é o que melhor representa a realidade e pode ser aplicado de forma mais correta (COELHO, 2000).

As distâncias mínimas para os perímetros de proteção são definidas levando em consideração o valor máximo da condutividade hidráulica do meio e o tempo ideal para o total decaimento bacteriológico.

Segundo LEWIS et al., (1982 apud FOSTER et al., 2006), os incidentes registrados de contaminação que provocaram enfermidades transmitidas pela água, à separação horizontal entre a fonte de abastecimento de água e a origem da poluição patogênica era (no máximo) aquela percorrida pela água subterrânea em 20 dias.

COELHO (2007), verificou em aquífero freático de areias quartzosas e de fração médias a finas, que os coliformes termo tolerantes tinham sido eliminados em cerca de 98,47% nas águas subterrâneas passado 21 dias após a injeção do esgoto bruto.

As três zonas mais importantes que dividem a área ao redor do ponto de captação de fontes naturais são (COELHO, 2000):

*ZONA IMEDIATA*- corresponde a uma pequena área em superfície ao redor da fonte de abastecimento propriamente dita, com aproximadamente 10 m, independentemente da geologia local. Não se deve permitir nessa zona nenhuma atividade ao redor do ponto de captação, que não esteja relacionada com a própria extração da água, e mesmo essas atividades precisam ser cuidadosamente avaliadas e controladas para evitar a possibilidade de que os contaminantes atinjam a fonte, seja diretamente, seja por meio de perturbações no terreno adjacente.

*ZONA PRÓXIMA*- esta é área de proteção mais importante no que diz respeito à saúde pública. Ela é definida em termos de condutividade hidráulica (tempo de trânsito de água em até 100 dias na zona saturada). O principal objetivo é proteger as fontes de abastecimento contra atividades que potencialmente infiltram microorganismos patogênicos.

*ZONA AFASTADA*- É a área mais externa que se pode definir para uma fonte individual. Corresponde ao perímetro dentro da qual toda a recarga do aquífero será captada na fonte de abastecimento em questão. Em termos de tempo de trânsito o escoamento subterrâneo deve ser maior que 100 dias, na qual se faz restrições ao uso

da terra, ao potencial contaminante urbano e industrial e determinadas práticas agrícolas.

Em Moçambique, ainda não existem estudos sobre a questão de proteção e vulnerabilidade de aquíferos.

### **2.1.3 Poluição e Contaminação das Águas Subterrâneas**

Uma das conseqüências nocivas do desenvolvimento e da atividade do Homem civilizado é a alteração em larga escala, da composição natural da água. A composição e as propriedades da água podem ser naturais ou induzidas.

A água subterrânea no estado natural é o resultado da interação de suas características físicas, químicas e biológicas como o meio por onde circula. Por ocorrer na forma de depósitos subterrâneos, possuem naturalmente maior proteção aos efeitos de poluição e contaminação que as águas superficiais.

O processo de poluição da água subterrânea pode ser entendido como o resultado da alteração de suas características por quaisquer ações ou interferências, sejam elas naturais ou provocadas pelo Homem. Esta alteração se caracteriza pela presença de poluentes que afetam apenas os aspectos estéticos e ambientais. Entretanto, quando essa alteração ou degradação da qualidade das águas subterrâneas atinge níveis que podem afetar, de forma prejudicial, a saúde humana e dos animais que a consomem, é denominada contaminação (COELHO, 2000).

De acordo com o grau de extensão das atividades poluentes, podem ser denominadas de fontes pontuais ou difusas. As fontes pontuais são de pequena escala e facilmente identificáveis e, portanto, seu controle é mais eficiente e mais rápido; e quando as fontes são relativamente dispersas e normalmente são originadas de outras fontes menores cujas localizações não são bem definidas são denominadas fontes difusas (BRAGA, 2003; HYPOLITO, 2008).

As fontes de poluição podem ser ainda classificadas em relação a sua evolução temporal como permanente e intermitente. A identificação da primeira situação está relacionada a grandes concentrações de poluentes, dispostos de maneira estratificada no aquífero. Ao passo que a presença de uma estratificação menos densa

(regionalizada), ocasionando uma mistura poluída ou não no aquífero, sugere uma fonte de poluição de caráter intermitente (COELHO, 2000).

#### **2.1.4 Vulnerabilidade do Aquífero**

Os mecanismos de recarga das águas subterrâneas e a capacidade natural de atenuação do contaminante no solo e no subsolo variam amplamente segundo as condições geológicas próximas à superfície.

Uma das ferramentas fundamentais para prevenir à contaminação das águas subterrâneas e protegê-la é conhecer a vulnerabilidade natural do aquífero à carga contaminante.

Sintetizando as diferentes definições adotadas (DUARTE, 1980; FOSTER; HIRATA 1991; ADAMS; FOSTER, 1992; REBOUÇAS, 1994) para o termo, podemos definir vulnerabilidade do aquífero à contaminação como o conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero da zona não saturada. Seria então, uma função da: (1) acessibilidade ao aquífero saturado, no sentido hidráulico, à penetração dos contaminantes e; (2) capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da zona saturada, resultante da retenção físico-química ou reação dos contaminantes.

A partir disso, podemos concluir que, quanto mais alta é a resistência hidráulica, menor será a vulnerabilidade do aquífero. Do mesmo modo, quanto mais alta for à capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da zona saturada, maiores serão os processos de filtração e bio-geo-químicos de depuração que o poluente sofrerá.

A vulnerabilidade de um aquífero não pode ser alterada, pois depende exclusivamente da litologia e das características hidrogeológicas da área. Para reduzir os riscos de contaminação o que pode fazer é controlar ou modificar a carga contaminante conforme suas características, classe, modo de disposição e a duração.

## 2.2 Indicadores de Contaminação das Águas Subterrâneas

A ausência, total ou parcial, de serviços públicos de esgotos sanitários nas áreas urbanas, suburbanas e rurais exige a implantação de algum meio de disposição dos esgotos locais com o objetivo principal de evitar a contaminação do solo e das águas subterrâneas.

O esgoto é o termo usado para caracterizar os despejos provenientes dos diversos usos de água, como doméstico, comercial, industrial, agrícola, em abastecimentos públicos e outros.

Os esgotos são classificados em: sanitários e industriais. Os esgotos sanitários são despejos líquidos constituídos de esgotos domésticos, águas de infiltração e uma parcela não significativa de despejos industriais lançados na rede pública que tem uma característica bem definida. O esgoto industrial é o esgoto resultante dos processos industriais.

Os esgotos domésticos provêm principalmente, de residências, de edificações públicas e comerciais que concentram aparelhos sanitários, lavadeiras e cozinhas. Compõe-se essencialmente da água de banho, excretas, urina, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

A quantidade e a qualidade dos esgotos domésticos variam principalmente em função dos costumes e condições socioeconômicos das populações. De um modo geral, os esgotos domésticos constituem-se, aproximadamente, de 99,9% de água e 0,1% de sólidos.

Matérias orgânicas e inorgânicas são as principais características químicas dos esgotos domésticos. Cerca de 70% dos sólidos são de origem orgânica tais como proteínas, carboidratos, gorduras e óleos e uréias, surfactantes, compostos que geralmente apresentam combinação de carbono, hidrogênio, oxigênio, e nitrogênio (FUNASA, 2004). Substâncias organominerais dissolvidas e areias constituem a matéria inorgânica contida nos esgotos domésticos.

Uma infinidade de microorganismos, tais como bactérias, vírus, protozoários, helmintos, também está presente nos esgotos. Destes as bactérias e os vírus são os predominantes e os principais causadores de doenças ao Homem.

## 2.2.1 Nitrogênio

O nitrogênio dissolvido na forma de íon nitrato ( $NO_3^-$ ) é um dos mais problemáticos e difundidos contaminantes dentre o vasto número de potenciais contaminantes das águas subterrâneas (KEENEY, 1986; FREEZE; CHERRY, 1979). Ele ocorre na terra como o principal constituinte do ar (79 % em volume) e, é considerado o maior constituinte da matéria orgânica na forma de aminoácidos (FETTER, 1999).

O nitrogênio aparece na natureza sob várias formas. O movimento e a transformação dos compostos nitrogenados na biosfera podem ser caracterizados pelo ciclo de nitrogênio (FIGURA 2.4).

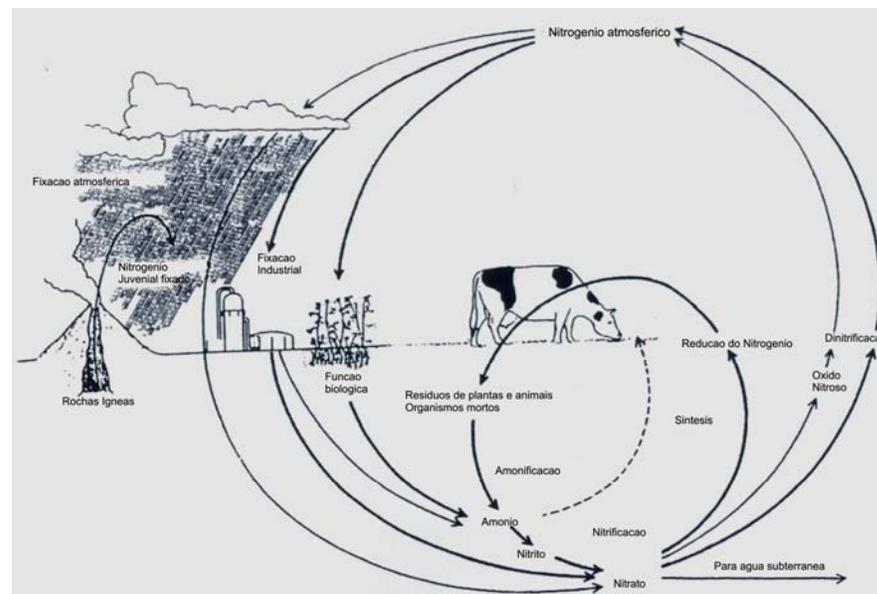


FIGURA 2.4- O Ciclo do nitrogênio (USEPA, 1994 apud CANTER, 1997).

O nitrogênio atmosférico pode combinar com o hidrogênio ou oxigênio antes de ser assimilado pelas plantas. As plantas, por sua vez, são consumidas por animais. Certas bactérias nos oceanos, lagos, solos e raízes de algumas plantas especialmente legumes, convertem o nitrogênio atmosférico em nitrogênio orgânico, que é então transformado por outras bactérias em nitrato, a forma de nitrogênio mais usado pelas plantas na síntese de proteínas.

A intervenção humana, por processos de fixação do nitrogênio industrial e pelo cultivo de legumes em larga escala, desempenha papel preponderante na alteração deste ciclo. A quantidade de nitrogênio fixado por estes dois mecanismos excede em mais de 10% a quantidade de nitrogênio fixado por ecossistema terrestre anterior a aparição da agricultura (USEPA, 1994).

O nitrogênio forma uma variedade de compostos orgânicos e inorgânicos de diferentes estados de oxidação negativos e positivos desde -3 até +5 (TABELA 2.2). Na biosfera, muitas mudanças dum estado de oxidação para outro são produzidas biologicamente (CANTER, 1997).

Os principais mecanismos de transporte responsáveis pelo movimento do nitrogênio no meio ambiente incluem precipitação, sedimentação em sistemas aquáticos, movimento das águas subterrâneas e superficiais e volatilização. Estes mecanismos são controlados pela temperatura, pH, flora microbológica, potencial de oxidação e redução, disponibilidade do substrato, nutrientes e oxigênio.

**TABELA 2.2- Relação entre espécies de nitrogênio em subsuperfície e seus respectivos estados de oxidação (STUMM & MORGAN, 1996; CANTER, 1997).**

Espécie	Estado de oxidação	Fonte
$\text{NO}_3^-$	5	Fertilizantes, esgotos domésticos e efluentes industriais
$\text{NO}_{2(g)}$	4	Combustíveis fósseis, automóveis
		Denitrificação em solos
$\text{NO}_2^-$	3	Fase intermédia da nitrificação,
		Denitrificação e redução de $\text{O}_3^-$
$\text{NO}_{(g)}$	2	Combustíveis fósseis, automóveis
		Denitrificação em solos
$\text{N}_2\text{O}_{(g)}$	1	Combustíveis fósseis, fase intermédia da nitrificação e redução $\text{NO}_3^-$
$\text{N}_{2(g)}$	0	Fertilizantes, atividade biológica e atmosférica
$\text{NH}_{3(g)}, \text{NH}_4^+$	-3	Fertilizantes, excrementos domésticos e de animais

Apesar dos mecanismos de transporte e transformação serem tipicamente considerados como processos individuais, é importante reconhecer que estes compreendem uma dinâmica contínua e muitas vezes não é possível distinguir os limites que governam a transformação de tipos específicos de nitrogênio (USEPA, 1994).

De acordo com o diagrama Eh-pH (FIGURA 2.5), o nitrogênio ocorre no meio natural sob a forma de  $NH_4^+$ ,  $N_2$ ,  $NO_3^-$ . Podem ocorrer fases intermediárias como  $NO_2^-$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ , embora suas concentrações nas águas naturais sejam muito pequenas. Uma grande parte do diagrama é ocupada por  $N_{2(g)}$  dissolvido, proveniente da interação entre as águas naturais, solo e atmosfera.

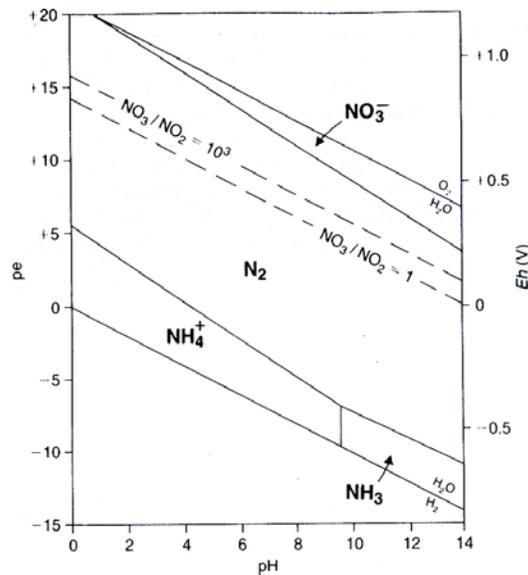
O nitrato, produto final da nitrificação, somente é estável próximo ao limite superior de estabilidade da água. O campo de estabilidade do amônio, por sua vez, ocorre próximo ao limite inferior de estabilidade desta água (FIGURA 2.5).

A amônia ocorre somente em pH muito elevado (>9) culminando com o limite do campo de estabilidade para o íon  $NH_4^+$ .

As fontes antrópicas têm uma participação relevante na disponibilização do nitrato na natureza. As práticas agrícolas, como o uso inadequado de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, disposição imprópria de resíduos líquidos e sólidos bem como os sistemas de saneamento “in situ” são fontes de nitrogênio para solos, águas e atmosfera (KEENEY, 1986). Também concorrem outros fatores tais como as condições ambientais do meio como as características físico-químicas (Temperatura, Eh e pH), conteúdo de matéria orgânica, variações climáticas e litológicas.

A transformação dos compostos nitrogenados pode ocorrer por meio de diferentes mecanismos, incluindo a fixação, amonificação, síntese, nitrificação e, denitrificação.

A fixação refere-se à incorporação do inerte, nitrogênio gasoso em compostos químico que podem ser usados pelas plantas e animais. A fixação do nitrogênio de  $N_2$  gasoso para nitrogênio orgânico é predominantemente consumada por bactérias especializadas e de associação entre estes microrganismos e as plantas (USEPA, 1994). A fixação atmosférica por relâmpagos e processos industriais (fertilizantes e outros químicos) exerce um pequeno, mas significativo, papel como método de fixação.

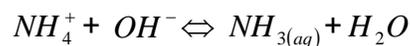


**FIGURA 2.5- Diagrama de equilíbrio Eh-pH para o sistema Nitrogênio à 25°C ( $P_{N_2} = 0.77$  atm- APPELO & POSTMA, 2005).**

A morte das plantas e animais seguida da decomposição (pelos microrganismos) leva à transformação do nitrogênio orgânico em amônio ou amônia ( $NH_3/NH_4^+$ ), processo chamado amonificação, definido como sendo a transformação biológica do nitrogênio orgânico para amônio ou amônia (CANTER, 1997), de acordo com a equação:



A formação do íon amônio ( $NH_4^+$ ) ou íon amônia ( $NH_3$ ) depende do pH do meio, obedecendo a seguinte reação:



Em condições ácidas e neutras o nitrogênio amoniacal é encontrado na forma de íon amônio ( $NH_4^+$ ), enquanto em condições alcalinas o nitrogênio amoniacal é liberado na forma de gás amônia ( $NH_3$ ) para a atmosfera. A FIGURA 2.6– mostra o equilíbrio amônio– amônia em função do pH (KLEE, 1975 apud FENZI, 1988).

O amônio e o nitrato através de mecanismos bioquímicos denominados de síntese ou assimilação são transformados a outro tipo de compostos nitrogenados, formas disponíveis para as plantas, de acordo com as seguintes reações:

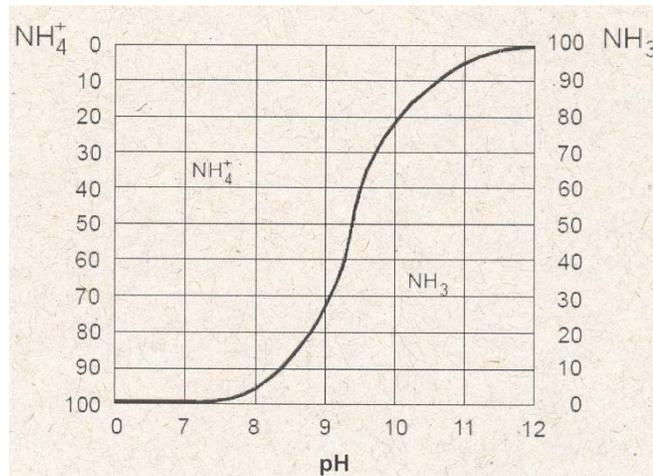
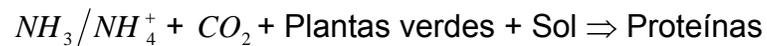
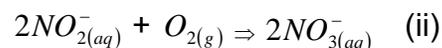


FIGURA 2.6– Equilíbrio amônio - amônia em função do pH (KLEE, 1975 apud FENZL, 1988).

## Nitrificação

Segundo REDDY; PATRICK (1981), a nitrificação é definida como a oxidação biológica de amônio para formar o nitrato. Este processo acontece em dois estágios com a ação de bactérias chemoautotróficas, Gram negativas e aeróbias. O processo é controlado pela temperatura, pH, alcalinidade da água, fonte de carbono inorgânico, população microbial, e concentração de nitrogênio de amônio.



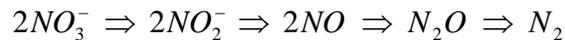
Segundo (STUMM; MORGAN, 1996; CANTER, op.cit.), as duas reações (i) e (ii) são levadas a efeito por diferentes bactérias. As bactérias que degradam o amônio são do tipo nitrozomonas e as que degradam o nitrato, são do tipo nitrobáctér.

A nitrificação é um processo que ocorre normalmente acima do nível de água, geralmente na zona não saturada, onde a matéria orgânica e o oxigênio são abundantes.

O nitrato tal como o amônio formado na decomposição de plantas e animais é usado na síntese para formar as proteínas que promovem o crescimento de plantas, ou é reduzido posteriormente por denitrificação.

## Denitrificação

KEENEY (1986) define denitrificação como sendo a redução biológica do nitrato para produtos finais gasosos, tais como  $N_2$  molecular ou  $N_2O$ . A redução se processa através de vários estágios, com o uso de carbono orgânico pelas bactérias como fonte de energia:



Segundo (FREEZE & CHERRY, 1979), o processo de denitrificação ocorre nas condições em que há uma diminuição do potencial redox nas águas subterrâneas.

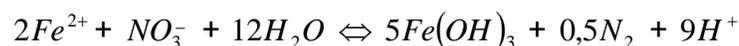
Algumas bactérias sob condições de livre oxigênio oxidam o substrato de carboidratos para formar  $CO_2$  e  $H_2O$  usando nitrato em vez de oxigênio como receptor de elétrons e convertendo o nitrato para o gás  $N_2$ , como mostra a reação abaixo:

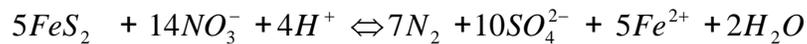


Segundo (CANTER, 1997), os fatores que influenciam direta ou indiretamente o processo da denitrificação são: a ausência de oxigênio; presença do carbono facilmente disponível; temperatura; umidade do solo; pH; presença de bactérias denitrificantes e textura do solo.

O  $N_2O$  e  $N_2$  não existem como espécies dissolvidas nas águas subterrâneas. Se a água se move dentro da zona não saturada, eles podem se perder pela liberação na forma de gases (FREEZE; CHERRY, 1979).

A denitrificação pode também ser processada mediante outros compostos que atuam como doadores de elétrons como ferro e enxofre (KOLLE; STREBEL; BOETTCHER, 1985), como mostra as equações:





Além do  $N_2$  podem ser gerados, embora em pequenas quantidades,  $N_2O$ ,  $NO$  e  $NO_2$ , emitidos para a atmosfera através da decomposição do nitrito.

### 2.2.1.1 Nitrogênio no Solo e nas Águas Subterrâneas

Na litosfera, o nitrogênio é um elemento pouco representado. Nas águas da chuva, a sua concentração na forma de amônio ( $NH_4^+$ ), varia de 0,01 a 1,00 mg/L e, os teores de ( $NO_3^-$ ) estão na faixa de 0,30 a 2,50 mg/L, podendo atingir até 12, 00 mg/L - SCHOELLER, 1962 (apud CAVALCANTI, 1996).

Nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores comumente a baixo de 5,0 mg/L- $NO_3^-$ . A presença de  $NO_3^-N$  (>5 mg/L) (CETESB, 1997) e  $NH_4^+$  (>0,06) indica contaminação - USEPA, (apud SZIKSZAY, 1993).

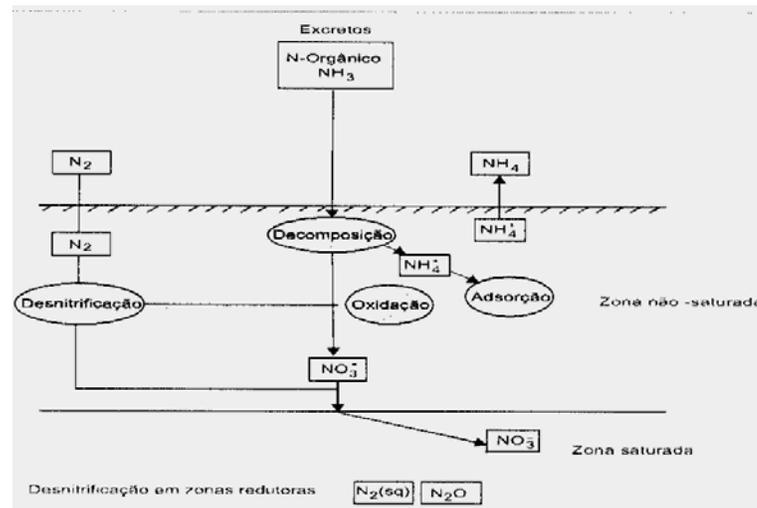
Segundo (FREEZE & CHERRY op. cit.; FEITOSA & FILHO, 1997; CANTER, op.cit.; KEENEY, 1989), o nitrogênio nas águas subterrâneas pode ocorrer na zona não saturada e saturada naturalmente ou induzida pelo Homem, conseqüência uso de fertilizantes e adubos na agricultura, deposição de resíduos sólidos e do lançamento indiscriminado de esgotos domésticos e industriais sobre e abaixo da superfície do solo e uso de fossas sépticas.

Normalmente, mais de 90% do nitrogênio presente nos solos é orgânico, o mesmo presente em plantas e animais, ou em húmus produto da decomposição de resíduos de plantas e animais mortos (CANTER, 1997).

As concentrações de nitrato são geralmente baixas porque ele é (1) usado em síntese, (2) lixiviado por percolação direta da água ou consumida em processos de denitrificação que ocorrem abaixo da camada aeróbia e superficial do solo. Entretanto, síntese e denitrificação raramente removem todo o nitrato adicionado no solo por fertilizantes ou efluentes de esgotos. Por conseguinte, o lixiviado do nitrato no solo é motivo de grande preocupação para a qualidade das águas subterrâneas em muitas áreas dos Estados Unidos e também em outros países no mundo (USEPA, 1994).

Segundo (KEENY 1989 apud CANTER, 1997), as origens do nitrato nas águas subterrâneas podem ser classificadas em naturais, resíduos de animais e de irrigação agrícola. Destas, ressaltam-se as áreas destinadas à criação de animais, onde se utiliza excremento animal na fertilização do solo e áreas agrícolas que usam fertilizantes inorgânicos em excesso.

Uma das mais importantes fontes de nitrogênio, ligadas às atividades humanas, está relacionada com a prática de disposição de dejetos humanos em sistema de saneamento deficitário e onde o esgoto é tratado “in situ” por cada morador (FREEZE & CHERRY, 1979). Pode-se esperar que os sistemas de saneamento “in situ” ocasionem freqüentemente aumentos na concentração de nitratos nas águas subterrâneas (FIGURA 2.7).



**FIGURA 2.7– Comportamento das espécies de nitrogênio em subsuperfície (modificado de FREEZE & CHERRY, 1979).**

De acordo com USEPA (1977, apud CANTER, 1997), sistemas sépticos para disposição de efluentes domésticos do tipo fossas são as principais e mais freqüentes fontes de contaminação dos solos e das águas subterrâneas dos Estados Unidos. Aproximadamente 25% da população Norte Americana é servida por sistemas de disposição “in situ”.

Os sistemas sépticos, muitas vezes localizados sobre aquíferos não-confinados, os quais são utilizados como fontes de abastecimento de água, constituem uma das mais numerosas fontes de contaminação de aquíferos rasos (ARAVENA et al., 1993).

Segundo (CANTER, 1997), em áreas providas de sistemas de saneamento “in situ” com tanques sépticos, ocorre uma rápida nitrificação de amônio, sob condições aeróbias, nos campos de infiltração. Nestas áreas, o amônio é facilmente convertido a nitrato, onde permanece solúvel e é facilmente transportado para as águas subterrâneas.

Segundo TECHOBANOGLIOUS et al.(1991 apud VARNIER, 2001), cerca de 97% dos 20-70 mg/L do nitrogênio presente no efluente doméstico encontra-se na forma de proteínas e uréia. A água e a presença de microrganismos anaeróbios desencadeiam uma série de reações como hidrólise, fermentação, oxidação anaeróbia, redução de sulfetos e metano gênese.

A lixiviação do nitrato para as águas subterrâneas representa um problema de contaminação, especialmente em zonas densamente povoadas, e o único mecanismo para reduzir a concentração de nitrato é diluindo-o no fluxo regional das águas subterrâneas. Para isso, seria necessário dispor de áreas relativamente extensas, a fim de manter as concentrações abaixo de 10 mg/L de nitrogênio-nitrato (CANTER, et al., 1987).

O transporte e o comportamento do nitrogênio no ambiente de subsuperfície dependem da forma de entrada e dos vários processos bioquímicos e físico-químicos envolvidos na transformação dum do tipo de nitrogênio para outro.

Os processos de transporte envolvidos no movimento de subsuperfície são: (1) difusão do amônio, (2) difusão do nitrato e (3) movimento de qualquer forma com a fase da água. Processos abióticos tais como a adsorção e a troca catiônica podem causar retenção do amônio em subsuperfície; daí, ocorrer processos bióticos tais como incorporação em microbiana ou biomassa.

A difusão do amônio e do nitrato no ambiente de subsuperfície desempenha uma função no transporte junto com processos abióticos tais como a adsorção e troca iônica. A quantidade de amônio transferido pelo fenômeno de difusão por unidade de área e por unidade de tempo é proporcional ao coeficiente de difusão e do gradiente de concentração. Na interface solo/água, o gradiente de concentração é relativamente grande e, portanto, a difusão do amônio na camada anaeróbica é rápida.

Amônio não pode ser transportado através da zona não saturada e na água subterrânea devido à adsorção, troca catiônica, incorporação em biomassa microbiana ou é liberto para a atmosfera na forma gasosa. A adsorção provavelmente é o maior mecanismo de remoção em ambiente de subsuperfície. Sob condições anaeróbicas no ambiente de subsuperfície íons de amônio ( $NH_4^+$ ) são facilmente adsorvidos por cargas negativas das partículas do solo.

### 2.2.1.2 Risco à Saúde Humana relacionado a Nitrato

A maior preocupação relacionada com o uso de águas subterrâneas com excesso de concentrações de nitrato nas águas subterrâneas está ligada aos efeitos na saúde humana. A toxicidade do nitrato para as pessoas está associada à redução do nitrato a nitrito. Esta reação ocorre na saliva das pessoas de todas as idades e no trato (região) gastrointestinal de bebês durante os seus três primeiros meses de vida (CANTER, 1997). O íon nitrato que é absorvido pelo sistema gastrointestinal reage com a hemoglobina, oxidando o ferro das suas moléculas e transformando-o de ferroso ( $Fe^{2+}$ ) a férrico ( $Fe^{3+}$ ).

A toxicidade de nitrato tem sido demonstrada pelos efeitos cardiovascular e dilatação de vasos em níveis altos e methamoglobinemia em níveis baixos - FEDERAL REGISTER 1985 (apud CÂNTER, 1997).

Methamoglobinemia é o efeito na qual a hemoglobina é oxidada para methamoglobina. Quando quantidade de methamoglobina aumenta no sangue, os níveis de oxigênio diminuem. Os efeitos da methamoglobinemia são rapidamente reversíveis e não são cumulativos.

Quando se combina o nitrato com a hemoglobina para formar methamoglobina, o resultado é a redução da capacidade de transportar de oxigênio no sangue. Então, os bebês sofrem de anoxia celular e cianose clínica. Este fenômeno pode ocorrer em bebês quando aproximadamente 10% da hemoglobina total tenham sido convertidos para methamoglobina.

Adicionalmente, outra preocupação relacionada à saúde pública é que muitos estudos mostraram que a ingestão de nitrato resulta em câncer de muitos órgãos.

O limite máximo recomendado no Brasil e nos Estados Unidos, para nitrato na água potável é 45 mg/L ( $\approx 10$  mg/L  $NO_3^- - N$ ) (Portaria 518/2004). A WHO (2005) e o MISAU (2004) estabelecem como limite máximo para Nitrato ( $NO_3^-$ ) concentrações de até 50 mg/L ( $\approx 11$  mg/L de  $NO_3^- - N$ ) (FREEZE & CHERRY, 1979; ZOLLER, 1994).

Vários estudos epidemiológicos têm indicado significativas correlações positivas entre a exposição do nitrato e o risco de câncer; por exemplo, o nitrato na água potável tem sido correlacionado com o risco de câncer gástrico na Colômbia e na Inglaterra; e está ligada a mortalidade por câncer gástrico no Chile por exposição dos fertilizantes contendo nitrito (TANNENBAUM & GREEN, 1985; KLEINJANS, et al., 1991).

A Organização Mundial da Saúde reportou 2.000 casos de methamoglobinemia no mundo inteiro entre 1945 e 1986 sendo que destes, 160 relacionavam-se à morte de crianças que consumiram águas cujas concentrações de excederam a 25 mg/L de  $NO^- - N$ . Segundo PRETTY & CONWAY (1988 apud HEATHWAITE et al., 1993) as áreas de maior risco correspondiam às zonas rurais devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Segundo ASCHENGRAU et al., (1989 apud VARNIER, 2001), várias pesquisas tentam comprovar que concentrações elevadas de methamoglobinemia no sangue de gestantes, ocasionadas pela ingestão de altas concentrações de nitrato, podem induzir o aborto espontâneo e má formação do feto, não sendo, entretanto, conclusivos.

Recentemente, foi constatado um aumento no risco do aparecimento de linfoma do tipo não- Hodgkin em pessoas que bebem água com níveis elevados de nitrato em algumas comunidades de Nebraska (com média estabelecida a longo de 4 mg/L de nitrogênio na forma de nitrato (BAIRD, 2002).

### **2.2.2 Microrganismos Patogênicos**

Existe um consenso geral sobre a dificuldade de se determinar a presença de todos os organismos patogênicos implicados nos processos de contaminação ambiental. Frente a estas dificuldades e à necessidade de se fazer uma avaliação rápida e confiável da presença de patógenos na água, implantou-se o princípio da utilização de organismos indicadores (CAMPOS, 1999). Os organismos indicadores são

aqueles que possuem um comportamento similar aos patógenos (concentração e reação frente a fatores ambientais e barreiras artificiais), porém, são mais rápidos, econômicos e fáceis de serem identificados (COELHO, 2007).

Os microrganismos usados mais correntemente como indicadores de contaminação são do grupo coliforme. Estes indicadores por si não são potenciais causadores de enfermidades ao Homem, mas sim estão presentes em grande número nas fezes. De modo geral, se for constatada a contaminação fecal da água, pode-se supor a presença de elementos patogênicos.

Os microrganismos mais encontrados na água são as bactérias e vírus entéricos que colonizam o trato gastrointestinal do Homem e são eliminados através das fezes. As bactérias e os vírus constituem os contaminantes biológicos de importância para a saúde pública presente em maior número nos esgotos domésticos.

Doenças de veiculação hídricas são definidas como sendo doenças em que a água é o veículo do agente infeccioso, ou seja, os microrganismos patogênicos que atingem a água por intermédio de excretas de pessoas ou animais infectados.

Na TABELA 2.3, está representada uma síntese das principais doenças, seus agentes etiológicos e medidas de combate.

**TABELA 2.3- Patógenos encontrados nas fezes humanas (FUNASA, 2004).**

	Agente Patogênico	Doenças	Transmissão	Medidas	
Bactéria	Salmonella typhi e paratyphi	Febre Tifóide e Paratifóide	Fecal - oral em relação à água	Sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário	
	Vibrio cholerae	Cólera			
	Shigella sp. Echerichia coli, Campylobacter yersinia, Enterocolitica	Diarréia aguda			
	Vírus	Vírus da hepatite A			Hepatite A e E
		Vírus da poliomielite			
Vírus norwalk, Rotavirus		Poliomielite			
Atrovírus, Adenovírus, calicivírus.		Diarréia aguda			
Protozoário		Entamoeba histolytica, Giardia lamblia			
	cryptosporidium spp. Balantidium coli.	Diarréia aguda			
	Toxoplasma gondi	Toxoplasma gondi			

O acesso dos microrganismos às águas subterrâneas depende de condições favoráveis para a movimentação e para a sua sobrevivência nas zonas não saturadas e saturadas dos solos. A movimentação dos microrganismos nas zonas saturadas e não saturadas do solo depende, diretamente, de diversos fatores, tais como da carga hidráulica, da velocidade de percolação, da concentração de microrganismos no efluente.

A contaminação dos aquíferos freáticos também depende, inversamente, de outros fatores, como do tempo de detenção dos esgotos na zona não saturada, da profundidade dos aquíferos em relação à superfície se aplicação e da temperatura do meio (MOORE et al., 1981).

Porém, a zona não saturada desempenha um papel fundamental na ação contra os contaminantes que atingem as águas subterrâneas. Isto se deve, principalmente, por seu ambiente ser mais propício à atenuação ou eliminação de contaminantes através de atividades biológicas, processos de filtração e de adsorção.

A filtração é o principal mecanismo de retenção de bactérias no solo, ocorrendo quando as bactérias são maiores que os poros abertos do solo. As zonas mais superficiais do perfil do solo fazem um papel importante na eliminação das bactérias. Uma vez retidos, o período de sobrevivência desses microrganismos diminui em função da exposição à luz solar, do antagonismo da população microbiana no solo.

Em geral, as enterobactérias persistem no solo durante dois ou três meses, entretanto, já foi detectado tempo de sobrevivência maior que cinco anos. No caso de infiltração rápida intermitente de esgoto no solo, os resultados significativos foram obtidos apenas na eliminação de bactérias (MERINO, 2003).

Em solos argilosos, a adsorção faz o papel mais importante na retenção de microrganismos devido ao pequeno tamanho das argilas, sua forma aplanada e a substituição dos átomos de metal de baixa valência em sua estrutura cristalina, fazem delas estruturas ideais de adsorção de bactérias e, sobretudo, de vírus. A adsorção é o fator predominante na eliminação de vírus através do solo. Ela vem condicionada por variáveis como o pH, a presença de cátions no meio e, a presença de grupos ionizáveis nos vírus.

É difícil generalizar a respeito da distância percorrida por microrganismos no solo, porém, o movimento está relacionado diretamente com os valores de infiltração hidráulica e inversamente com o tamanho das partículas de solo e da concentração e composição catiônica do soluto. A retenção e a sobrevivência também dependem dos valores de fluxo das águas subterrâneas, pressão de oxigênio, temperatura, disponibilidade de alimento, formas antagônicas da microflora do solo, grau de saturação do solo, pH, insolação, conteúdo de matéria orgânica e concentração inicial de bactérias.

A capacidade de adsorção de um solo geralmente aumenta com o aumento de seu conteúdo de argila. Segundo GERBA et al., (1975), as bactérias são facilmente adsorvidas pela argila, assim como a matéria orgânica, e através da obstrução dos poros favorecem o processo de atenuação. No entanto, a matéria orgânica quando solúvel compete com os organismos para ocupar os lugares de adsorção nas partículas.

Os principais fatores ambientais no controle da sobrevivência dos microrganismos (bactérias e vírus) no solo são a umidade e a temperatura. Para GERBA op. cit., os solos úmidos são favoráveis a um maior período de sobrevivência, portanto as estações chuvosas são responsáveis por períodos de sobrevivência mais longos, o que aliado ao aumento da velocidade do fluxo pela infiltração das águas (aumento da carga hidráulica durante os períodos de recarga do aquífero), proporcionariam uma maior penetração dos microrganismos. Uma vez retidos no solo, os vírus podem permanecer vivos durante períodos entre 7 dias e 6 meses.

Os vírus, embora não possam multiplicar-se fora do hospedeiro, podem sobreviver por semanas e meses no meio ambiente, principalmente a temperaturas inferiores a 15°C.

De acordo com PAGANINI (1997), as informações sobre sobrevivência de microrganismos (bactérias e vírus) em águas subterrâneas são limitadas, mas tem-se como pacífica a teoria de que o período de sobrevivência desses organismos, de forma geral, é mais longo em águas subterrâneas que em águas superficiais, em virtude da ausência de luz solar e menor competitividade por nutrientes. Da mesma forma, a temperatura constitui-se num fator importante, com os microrganismos sobrevivendo

por maior tempo a temperaturas mais baixas. A natureza química das águas subterrâneas também afeta a capacidade de sobrevivência de qualquer microrganismo presente. Bactérias entéricas, em geral, não suportam condições ácidas, ocorrendo o mesmo em águas subterrâneas salobras.

As bactérias entéricas sobrevivem em águas subterrâneas por períodos de tempo consideráveis (cem dias ou menos), dependendo da temperatura. Em países mais quentes, a temperatura de águas subterrâneas rasas é relativamente elevada. Assim, o período de sobrevivência de microrganismos entéricos deve ser menor nas águas subterrâneas de países tropicais que em países temperados.

Na maioria dos casos, as bactérias sobrevivem de dois a três meses nos solos de climas temperados, apesar de terem sido mostradas taxas de sobrevivência de até cinco anos. A sobrevivência dos organismos no solo depende de vários fatores e é maior na estação chuvosa devido ao aumento da umidade no solo. Baixo pH, além de aumentar a adsorção, é responsável pela redução na quantidade de nutrientes disponíveis para as bactérias. A quantidade de luz também é outro fator importante, já que a luz ultravioleta é bactericida (GERBA, et al., 1975).

COELHO (2007) aplicou esgoto sanitário não tratado no aquífero freático de composição litológica formada por areias quartzosas e de frações médias a finas, e monitorou o poluente, utilizando uma rede de 50 poços de observação. Passado 21 dias após a injeção, verificou que, os coliformes termo tolerantes tinham sido eliminados em cerca de 98,47% nas águas subterrâneas.

Estudos de campo já mostraram que em aquíferos heterogêneos de areia e cascalho, as bactérias podem ser transportadas por dezenas ou centenas de metros. Em fraturas e fissuras o transporte de microrganismos se dá ainda mais rapidamente, e as distâncias percorridas podem chegar a quilômetros (FREEZE & CHERRY, 1979).

### **2.3 Técnicas de Remoção do Nitrato e dos Microrganismos**

A contaminação das águas subterrâneas por esgotos domésticos é um problema que causa grande preocupação, devido à elevada carga orgânica e de microrganismos ali presentes. Existe uma grande atividade biológica de decomposição da matéria orgânica, da onde resulta o nitrato como um dos subprodutos.

O tratamento de água consiste em melhorar suas características físicas, químicas e bacteriológicas, afim de que se torne adequada a diversos usos, neste caso específico o consumo humano.

Neste trabalho abordam-se algumas técnicas para a remoção dos microrganismos e do nitrato nas águas subterrâneas. Essas técnicas que podem ser utilizadas separadamente ou em conjunto, para reduzir ou remover completamente, os microrganismos e os nitratos na água.

### 2.3.1 Microrganismos

A remoção dos microrganismos na água pode ser feita fervendo-a durante 15 minutos. Uma técnica simples, mas segura, para eliminar os microrganismos na água.

A água fervida em consequência torna-se de sabor desagradável. Para fazer desaparecer esse sabor, é necessário arejar a água.

Outra técnica bastante usada para a desinfecção ou esterilização de um poço, bomba, reservatório ou sistema de distribuição é feita usualmente pela aplicação de compostos de cloro:

- Hipoclorito de cálcio, (superior a 65% de  $Cl_2$ );
- Cloreto de cal (cerca de 30% de  $Cl_2$ );
- Hipoclorito de sódio, (cerca de 10% a 15% de  $Cl_2$ );
- Água sanitária (cerca de 2% a 2,5% de  $Cl_2$ ).

Devem ser usadas as seguintes quantidades: 50 mg/L de  $Cl_2$  (livre) durante 12 h; 100 mg/L de  $Cl_2$  (livre) durante 4h; 200 mg/L de  $Cl_2$  (livre) durante 2 h.

Os dois primeiros agentes desinfetantes são encontrados no estado sólido e as águas sanitária em solução.

Os líquidos são usados tal como comprados. Para os sólidos, é conveniente se fazer uma pasta, juntando-se água.

A operação de desinfecção propriamente dita inicia-se, escovando-se as superfícies (poço ou reservatório) a desinfetar com uma solução concentrada de 100 a 200 mg/L de  $Cl_2$  disponível e, a seguir, deixa-se a solução concentrada indicada conforme o prazo indicado acima, ao tratar da quantidade de desinfetante a usar.

Terminado esse prazo, esgota-se completamente o poço e substitui-se a solução desinfetante pela água, que se vai renovando até que nenhum cheiro de cloro seja percebido na água.

Considera-se a desinfecção como eficaz quando ainda se encontra cloro residual ( $\approx 0.5$  mg/L) após 15 minutos do tempo de aplicação.

Quantidade de desinfetante a usar é calculada por meio da seguinte expressão:

$$P = \frac{CxV}{(\% Cl_2)X10}$$

P= número de gramas do produto;

C= dosagem desejada em mg/L;

V= número de litros de água.

Exemplo da aplicação: desinfecção de 1.000 litros de água.

Produto usado: hipoclorito de cálcio (70% de  $Cl_2$ ).

Dosagem desejada: 50 mg/L

Volume de água: 1.000 L

$$P = \frac{CxV}{(\% Cl_2)X10} = \frac{50x1.000}{70x10} = 70g$$

A tabela abaixo mostra as dosagens a aplicar na desinfecção em pequenos reservatórios em domicílio utilizando o hipoclorito de sódio a 2,5%:

**TABELA 2.4- Dosagem aplicada na desinfecção de água em pequenos reservatórios.**

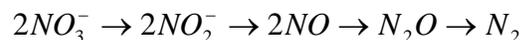
Volume de água	Hipoclorito de sódio a 2,5%		Tempo de contato
	Dosagem	Medida prática	
1.000 L	100 mL	2 copinhos de café (descartáveis)	30 minutos
200 L	15 mL	1 colher de sopa	
20 L	2 mL	1 colher de chá	
1 L	0,08 mL	2 gotas	

### 2.3.2 Nitrato

A remoção do nitrato nas águas subterrâneas é mais complexa e com elevados custos de operação que a remoção dos microrganismos. A remoção se faz através de vários processos com efeitos diferentes em longo prazo no que se refere à qualidade da água.

#### **Biorremediação (Denitrificação biológica)**

A Biorremediação é um processo que consiste na redução biológica do nitrogênio, em ambiente anóxico, liberando o nitrogênio molecular ou gás nitrogênio ( $N_2$ ) e óxido nitroso ( $N_2O$ ), passando por série de componentes intermediários.



É um processo respiratório de bactérias anaeróbias que se utilizam de óxidos nitrogenados na ausência de oxigênio para a geração de trifosfato de adenosina (ATP) para a manutenção de suas necessidades básicas (MATEJU et al., 1992).

As bactérias denitrificantes são autótrofas e heterótrofas. A denitrificação ocorre principalmente com o gênero de organismos heterótrofos como as dos gêneros *Achromobacter*, *Aerobacter*, e *Nitrozomonas*.

A grande maioria das bactérias são facultativas, isto é, são organismos capazes de utilizar o oxigênio, nitrato ou nitrito; porém para ocorrer a denitrificação, é necessária ausência ou baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

Na ausência de oxigênio livre para ser utilizado como elétrons aceptores, esses microrganismos são capazes de utilizar o nitrato/nitrito. Quando o nitrato é utilizado como elétron acceptor, este é reduzido para nitrogênio gasoso (CÂNTER, 1997).

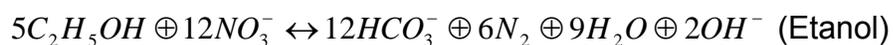
Segundo FIRESTONE (1982), são necessários quatro fatores para que haja a denitrificação: Presença de íons nitrogenados como nitrato, nitrito, óxido nítrico, óxido nitroso como receptores de elétrons; a existência de bactérias que possam realizar os processos metabólicos; um doador de elétrons compatível; condições de oxigênio restritas ou ainda a sua ausência.

A energia para a reação de denitrificação é liberada por fontes de carbono orgânico que atuam como doadores de elétrons.

Assumindo a existência de compostos da série nitrogenada, na maioria das situações é necessário um suprimento de carbono orgânico prontamente biodegradável que a maioria das bactérias que utilizam conjuntamente para a oxidação do carbono orgânico e a redução do nitrato para sua fonte de energia.

A denitrificação microbiana "in situ" está baseada nos mesmos princípios que os sistemas biológicos convencionais para o tratamento de água de esgoto (utiliza-se o metanol como doador de elétrons por ser fonte barata de carbono externo), exceto que este é tratado na sub-superfície pela injeção de fontes de carbono orgânico apropriado.

Dentre as substâncias mais pesquisadas e publicadas como fonte de carbono para os processos bacteriológicos está o metanol, o etanol, e o ácido acético. As reações abaixo apresentam as fórmulas estequiométricas, MATEJU, et al., (1992, apud CESARINO, 2002):



O ácido acético demonstrou uma maior eficiência. Os valores obtidos como porcentagem e degradação são de pelo menos 70% podendo chegar a praticamente 100% dependendo da razão entre a quantidade de carbono disponibilizada e a quantidade de nitrato na solução a ser removida.

CESARINO (2002) desenvolveu estudos para obtenção de novos materiais reativos de baixo custo construtivo e operativo para a degradação do nitrato mediante processo de denitrificação biológica “in situ”. Através de experimentos laboratoriais, denominados “batch tests”, procurou-se simular condições hidrogeoquímicas favoráveis aos processos de denitrificação, isto é, transformação do nitrato ( $NO_3^-$ ) em gás nitrogênio ( $N_2$ ) e óxido nitroso ( $N_2O$ ) e compreender os principais mecanismos controladores deste processo em aquíferos rasos submetidos a um clima tropical úmido.

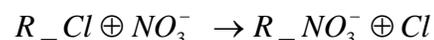
Os materiais utilizados, papel, serragem, palha de aço e enxofre, apresentaram resultados satisfatórios na remoção de nitrato em uma barreira reativa. A palha de aço mostrou-se mais eficiente nos processos de denitrificação com um consumo de 90% da massa de nitrato, num período de nove dias. O ferro presente na palha de aço atuou como doador de elétrons permitindo, desta maneira, a geração de compostos nitrogenados mais reduzidos. O aumento de ferro ferroso e amônio, medidas durante o experimento, é o resultado deste processo.

## Troca iônica

A troca iônica envolve o processo de passagem de água contaminada através de uma membrana de resina contendo ânions relacionados às bases fortes para que estas então possam trocá-los com um contaminante até a exaustão completa da resina.

Utiliza-se habitualmente uma resina aniônica forte. Para regenerar a resina é passada, através dela, uma solução de cloreto de sódio, devido ao baixo custo, para a troca dos íons nitrato.

Os nitratos removidos desta forma obedecem à seguinte reação química:

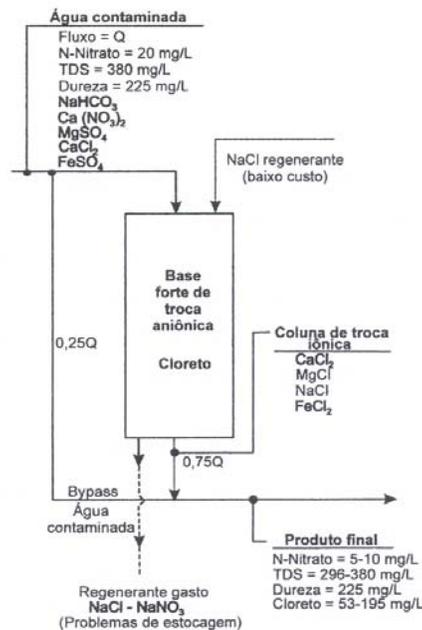


(R= resina aniônica)

Pode também utilizar-se como regenerante o cloreto de potássio ( $KCl$ ), o qual permite obter uma água de regeneração menos prejudicial em termos ambientais.

O processo de troca iônica pode ser em sistema de coluna única com unidade de troca aniônica de base forte ou envolvendo duas colunas, uma de base fraca e outra de

ácidos fortes que passa com um fluxo inicial e sua divisão em dois fluxos um de 0,25 da vazão inicial e outro com 0,75 da vazão inicial. A vazão maior percorre as colunas de troca aniônica de base forte onde após a sua saída, o efluente formado possui sais de cloreto ( $NaCl$ ,  $MgCl$ ,  $FeCl_2$ , etc.) dissolvidos na água devido à troca com a resina. No final do sistema, os dois fluxos, um tratado na resina e outro não tratado, se juntam e formam o produto final da descontaminação (FIGURA 2.8).



**FIGURA 2.8- Esquema ilustrando o sistema de troca iônica numa única coluna (extraído de DAHAB & BOGARDI, 1990).**

O sistema de duas colunas utiliza como regeneradores para a coluna ácida, ácidos nítricos, clorídrico ou sulfúrico e para a coluna de base fraca, hidróxido de amônio.

As vantagens do sistema de duas colunas estão na redução da dureza da água concomitante à redução do nitrato. Apresenta a possibilidade de utilização do resíduo da regeneração como fertilizante.

Desvantagens: o processo é complexo; as colunas e os regenerantes devem ser equilibrados; é necessário a desgaseificação para a remoção do dióxido de carbono,

bem como o acompanhamento da concentração do nitrato e do pH; o custo dos regenerantes no processo é elevado.

O sistema de coluna única é simples e não tem balanço de resinas e regenerantes. Porém se verificam desvantagens como os custos de disposição e monitoramento dos resíduos do processo, formado por cloreto de sódio e nitrato de sódio, remoção das concentrações de ferro.

A taxa de eficiência do método com uma ou duas colunas, está entre 50 e 75% de remoção de nitrato.

### **Osmose reversa**

O princípio baseia-se na passagem forçada, através de aplicação de pressão, acima da pressão osmótica, na água contaminada para que a mesma atravesse uma membrana semipermeável deixando nitrato (FIGURA 2.9).

As membranas utilizadas são de acetato celulose, poliamidas ou compostos entre as duas. Devido à baixa seletividade das membranas por íon específico, a quantidade de sais gerada é muito grande e assim há a necessidade de se pensar na disposição de resíduos com altos valores de sólidos totais dissolvidos (STD).

CEVAAL et al., (1995), desenvolveu uma planta para a remoção de nitrato. Na planta, a água contaminada tem seu fluxo dividido como no caso da troca iônica e a parte a ser tratada passa por um pré-tratamento com a adição de ácido e anti-escalante seguido para uma secção de filtragem e posterior entrada nas células de osmose reversa.

Após a descontaminação segue para o pós-tratamento onde será submetida a uma degaseificação de dióxido de carbono e em seguida à causticação, adição de ortofosfato de zinco e a cloraminação (inibidor de corrosão) para prevenir a formação de trihalometanos na planta de remediação. No final do processo, as duas águas são novamente misturadas, armazenadas e distribuídas à população.

A quantidade de eficiência do método poderá chegar até aos 96% do valor inicial, embora dependendo do pH da água a tratar, da sua temperatura, e da pressão do sistema.

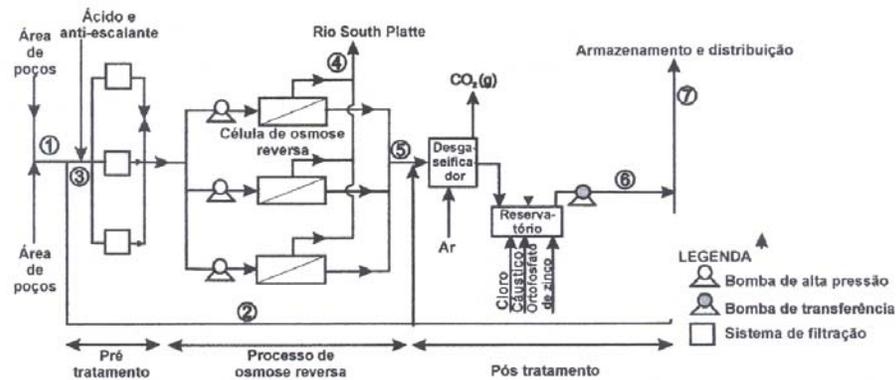


FIGURA 2.9.- Fluxo digrama para a osmose reversa (extraído de CANTER, 1997).

## Eletrodiálise

A eletrodiálise utiliza membrana semipermeável de troca iônica para remoção de íons pela aplicação de um campo elétrico.

Os íons são atraídos pela aplicação decorrente elétrica para os ânodos e retidos entre as membranas dispostas paralelamente ao fluxo de água e perpendicularmente ao fluxo da corrente (FIGURA 2.10).

Para sua realização são necessárias águas pressurizadas, membranas de trocas aniônicas e catiônica, em seqüência e naturalmente uma fonte de corrente contínua de energia. Ainda há a necessidade de pré-tratamento das águas similar àquele aplicado à osmose reversa em função da sensibilidade do método. Se a polaridade for invertida, durante três ou quatro vezes durante uma hora, poder-se-á desenvolver a chamada eletrodiálise reversa que apresenta a vantagem de reduzir o uso de produtos químicos no decorrer do processo (KAPOOR & VIRARAGHAVANT, 1997).

ELMIDAOU I et al., (2001) desenvolveram um sistema para remoção de nitrato por eletrodiálise a partir do bombeamento de uma água contaminada com concentração de 133 mg/L de  $NO_3^-$ . Foram utilizados vários tipos de membranas semipermeáveis a diferentes voltagens (5 a 10 v). Após uma hora de operação, foram avaliadas as membranas e a melhor delas apresentou a taxa de eficiência de 80% de remoção de nitrato enquanto a pior, uma remoção próxima a 75%. Concomitante à remoção, houve a redução da dureza da água e dos sólidos totais dissolvidos em torno de 32%.

Várias outras plantas no mundo foram desenvolvidas para remoção de nitrato na água. A desvantagem desta técnica está na necessidade de um monitoramento extensivo nas atividades das plantas e o seu custo permanece proibitivo em grande escala, já que o sistema foi desenvolvido há quase trinta anos visando à dessalinização de água do mar e águas duras.

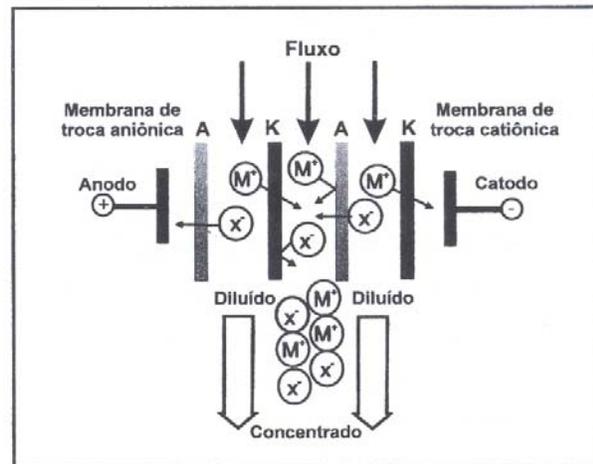


FIGURA 2.10.- Princípio de funcionamento da eletrodialise (extraído de HELL et al., 1998).

## Fitorremediação

As tecnologias baseadas em uso de vegetais para remediação de solos, água e ar contaminados são cada vez mais utilizadas em países desenvolvidos. Entre esses países, destacam-se os Estados Unidos, o Canadá e a Alemanha.

A colonização vegetal em solos degradados pode auxiliar na melhoria de características físicas e químicas do local, inclusive no caso de solos poluídos, resultando na redução dos teores do poluente ou de sua periculosidade implícita. É conhecido, por exemplo, na Alemanha, há mais de 300 anos, as plantas já eram utilizadas no tratamento de esgotos (CUNNINGHAM et al., 1996).

Fitorremediação é a técnica de utilização de plantas, e dos microrganismos a eles associados, para contenção, isolamento, remoção ou redução das concentrações de contaminantes em meio sólido, líquido ou gasoso (EPA, 2000).

Processos fisiológicos e bioquímicos vitais tais como absorção de água e íons inorgânicos, transpiração e produção fotossintética de fitoquímicos e enzimas podem ser direcionados para remover, transformar, estabilizar e volatilizar poluentes orgânicos e inorgânicos a partir de solos, sedimentos e corpos d'água superficiais e subterrâneos.

Fitorremediação é um método de remediação esteticamente favorável que se aproveita da energia solar. Seu uso ocorre, em geral, na limpeza de locais pouco profundos contendo moderados ou baixos níveis de contaminação e pode acontecer acompanhado, ou não, de outros métodos de descontinuidade "in situ".

No entanto, alguns pesquisadores têm encontrado no uso de árvores, cuja penetração das raízes é mais profunda, um limite maior para a descontaminação de solos mais profundos.

Deve-se levar em conta que a fitorremediação de águas subterrâneas é essencialmente limitada a aquíferos não confinados nos quais o nível d'água fica ao alcance das raízes e a contaminação ocorre na parte superior do aquífero.

O nitrogênio é um nutriente importante para o crescimento da plantas, daí, a fitorremediação ser um método viável de remediação para o nitrato principalmente sob condições de nível freático raso. O milho e árvores tipo álamo, com raiz profunda, são considerados como muito eficientes na redução de concentrações de nitrato na água subterrânea - GATLIFF (1994, apud BERROCAL, 2009).

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Caracterização Geral

A República de Moçambique fica na costa oriental de África e tem um limite de fronteira terrestre de 4.330 km e uma costa com um comprimento de 2.470 km.

Faz fronteira, a norte com a Tanzânia e, a oeste, com o Malawi, com o Zimbábwe, com a Zâmbia e com a República da África do Sul (RSA). O sul faz fronteira com o Reino da Swazilândia e também com a RSA (FIGURA 3.1).

Com uma área de cerca de 800.000 km<sup>2</sup>, o território moçambicano é administrativamente dividido em 10 províncias (FIGURA 3.1), possui uma população de 20.530.714 habitantes ([www.ine.gov.mz](http://www.ine.gov.mz)). Maputo é a capital de Moçambique e está localizada no extremo sul do país.

Moçambique é caracterizado, morfologicamente, pela existência de quatro unidades distintas: planícies costeiras (0 a 200 m), planaltos médios (200 a 500 m), altiplanaltos (500 a 1.000 m) e zonas montanhosas (>1.000 m). A maior cadeia montanhosa é o monte Binga, na província de Manica, com 2.436 m, sobre o nível do mar (FERRO; BOUMAN, 1987).

Do ponto de vista geológico, Moçambique compreende: Formações Pré-Câmbricas do Complexo de Base, Formações Sedimentares do Karoo, Rochas intrusivas e extrusivas Pós-Karoo, e Formações Sedimentares Meso-Cenozóicas (FIGURA 3.2).

O Complexo de Base localiza-se na parte ocidental da região central do País e em quase toda região a norte do rio Zambeze. Compreende formações do Cratão do Zimbabwe e formações do “Mozambique Belt”.

As formações mais antigas são constituídas principalmente por “xistos verdes” com interstratificações de quartzitos, calcários, grauvaques e conglomerados. O “Mozambique Belt” é formado, predominantemente, por rochas de alto grau de metamorfismo como gnaisses, granito-gnaisso-migmatíticas, alternando-se com metassedimentos, charnoquitos e rochas básicas e intermédias do Complexo Gabro Anortosítico de Tete.

A orientação estrutural predominante das rochas do “Mozambique Belt” é N-S.

Bacias Sedimentares do Karoo (Bacia do Médio Zambeze e de Maniamba). As duas bacias estão rodeadas por formações do Complexo de Base e formam depressões planas, com raros montes e terraços individuais, relíquias de ciclos de erosão antigos.

A Bacia do Médio Zambeze é composta por vários blocos inclinados, em que a seqüência sedimentar pode atingir mais de 3.000 m de espessura.

O Karoo Inferior começa com conglomerados de base e tilitos a que se seguem pelitos, argilitos e siltitos (Séries Dwycka e Ecça) e camadas de carvão.

A seqüência sedimentar do Karoo Superior é formada por arenitos de textura fina, arenitos grosseiros, arenitos fossilíferos e margas (Séries Beaufort). A seqüência sedimentar total é interceptada, freqüentemente, por filões de doleritos.

Da base para o topo, a Bacia Sedimentar de Maniamba, compreende arenitos conglomeráticos, pelitos, xistos carbonosos e siltitos, xistos com troncos silificados, xistos com concreções calcárias e arenitos argilosos friáveis.

Coberturas finas de areias do Quaternário são comuns na Bacia do Médio Zambeze e ao longo dos limites oriental e sul da Bacia de Maniamba. Compreendem coluviões, terraços aluvião, eluviões e possivelmente areias eólicas.

Rochas intrusivas e extrusivas Pós-Karoo compreendem especialmente basaltos, riolitos e lavas alcalinas. Esta seqüência vulcânica foi emitida a partir de falhas e fissuras. A cadeia dos Libombos localizada na região sudoeste do país e que se prolonga até ao rio Zambeze é a mais importante.

Formações sedimentares Meso-Cenozóicas (Bacia Sedimentar do Rovuma e Bacia do sul de Moçambique) são caracterizadas por séries predominantemente continentais de arenitos arcócos, nas partes ocidentais das bacias e séries predominantemente marinhas e de transição, nas zonas costeiras. Quase 70% das bacias sedimentares estão cobertas por material solto. Trata-se geralmente de uma cobertura de alteração meteórica com 5 a 10 m de espessura, de natureza areno-argilosa, assente rochas sedimentares.

Hidrogeologicamente Moçambique está dividida em províncias hidrogeológicas (FIGURA 3.2). Considera-se província hidrogeológica uma região de características

gerais semelhantes com relação às principais ocorrências de águas subterrâneas (TOLMAN, 1937 apud FEITOSA, 2008).

Entre os fatores que contribuem para a definição de uma província hidrogeológica destacam-se o geológico e o fisiográfico. O fator geológico é o mais importante, visto que a litologia, a estrutura e a tectônica controlam as condições de ocorrência, movimento e qualidade das águas subterrâneas. Em seguida vem o fisiográfico, compreendendo o clima, a morfologia, a hidrografia, os solos e a vegetação, os quais podem operar mudanças radicais nas condições da água do subsolo, favorecendo ou não a produtividade hídrica de uma determinada região.



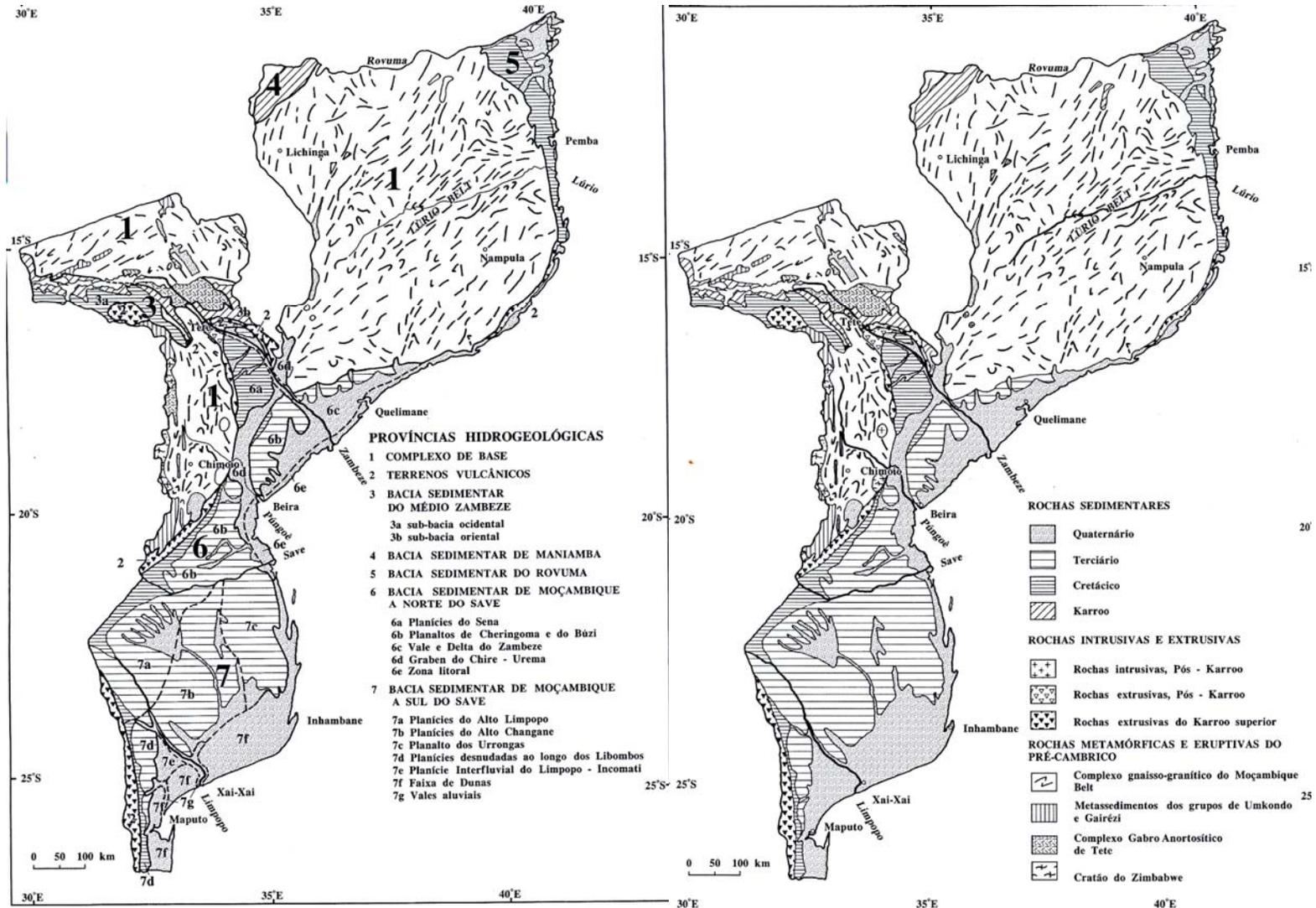


FIGURA 3.2- Esboço geológico de Moçambique e Províncias hidrogeológicas de Moçambique (FERRO & BOUMAN, 1987).

### 3.2 Localização e acesso a Área de Estudo

A área abrangida neste estudo inclui os bairros de Hulene B, Laulane e 3 de Fevereiro, localizados no extremo centro-oeste do Distrito Urbano 4 do Município de Maputo. A área está situada entre as latitudes 7.133.000 e 7.138.000 Sul e longitudes 458.000 e 463.000 Este (FIGURA 3.3).

Segundo a diferenciação espacial da estrutura de ocupação do espaço urbano, a área de estudo situa-se na zona suburbana. O acesso a área pode ser feito a partir da Avenida Julius Nyerere ou pela Rua da Beira, no sentido Norte.

### 3.3 População e Ocupação do Solo

O Distrito Urbano 4, o mais extenso dos sete distritos do Município de Maputo, ocupa uma área total de 108,37 km<sup>2</sup> (cerca de 31,3% da cidade). Segundo *IIIRGPH*, em 2007 a população desta área totalizava os 293.361 habitantes.

Um dos grandes problemas do distrito é a ocupação desordenada do espaço urbano, tido como conseqüência da migração do campo para a cidade motivada principalmente pela procura de segurança, durante a guerra civil (1976-1992).

O tipo de habitação é caracterizado por uma mescla de construções do tipo convencional-construção à base de materiais convencionais como cimento e tijolos e melhorado que se refere a casas construídas à base de uma mistura entre materiais convencionais (cimento, tijolos, chapas de zinco) e precários (pau a pique, caniço, barro).

O crescimento demográfico acentuado, como já foi referido, trouxe problemas sérios de saneamento básico. As famílias consomem água subterrânea, captada do aquífero freático através de poços rasos e tubulares e utilizam sistemas de saneamento in situ para tratar o esgoto produzido.

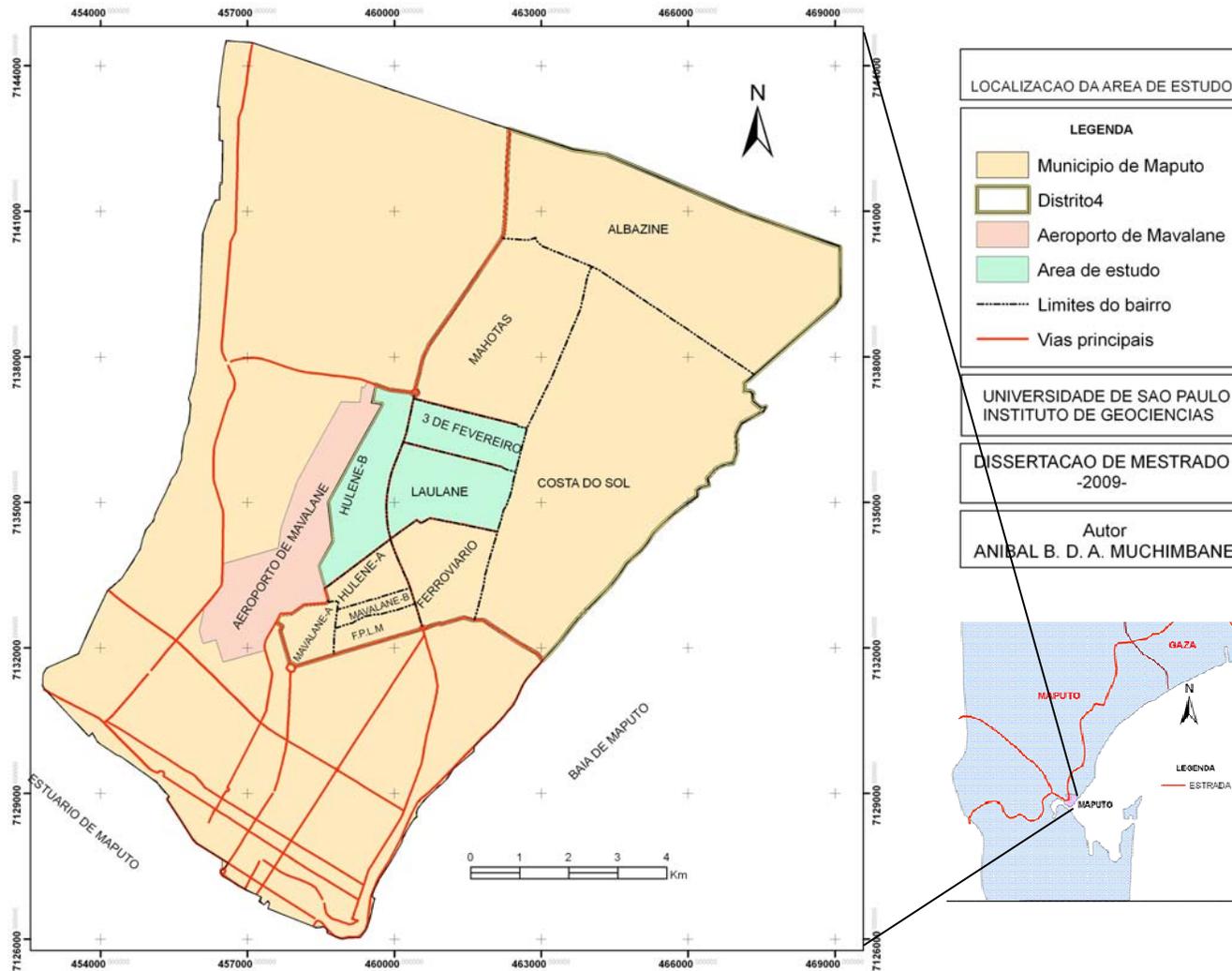


FIGURA 3.3- Localização da área de estudo.

### **3.4 Geomorfologia do Município de Maputo**

As características geomorfológicas do Município de Maputo refletem as unidades geomorfológicas de uma planície costeira, possuindo altitudes entre 0 e 60 m.

As dunas interiores são as unidades geomorfológicas prevaletentes na área. As suas cristas atingem valores de 60 m acima do nível médio do mar (n. m. m), diminuindo em direção a oeste e a este da área. Apresentam a cor vermelho-alaranjada, porém, as depressões na parte Oeste que intercalam as dunas exibem a cor clara.

### **3.5 Geologia do Município de Maputo e da Área de Estudo**

O Município de Maputo está inserido na Bacia Sedimentar Meso-Cenozóica do Sul de Moçambique, formada pelas subsidências que se verificaram ao longo dos afundamentos profundos orientados segundo N-S, associadas ao sistema dos riftes da África Oriental e ao longo do eixo do Canal de Moçambique (BURGEAP, 1962).

O substrato desta Bacia consiste de basaltos e riólitos pertencentes aos depósitos de Karoo, de idade Permiana à Jurássico (BURGEAP, op. cit.) preenchida por estratos sedimentares de idade Terciária e Quaternária, cuja inclinação é para leste (estratos horizontais a sub-horizontais).

A FIGURA 3.4 mostra as principais unidades geológicas que afloram no Município de Maputo. A leste, os depósitos são predominantemente marinhos depositados durante as fases transgressivas e para oeste predominam formações continentais, constituídas por arenitos.

A formação mais antiga de interesse na região é a chamada Formação de Inharrime datada do Oligoceno, constituída principalmente por margas/argilas cinzentas, depositadas durante a transgressão marinha. O topo é fixado entre 30 e 60 m abaixo do nível médio do mar (n.m.m) (MOMADE, et al., 1996). Na composição mineralógica o quartzo é o mineral abundante, aparecendo por vezes a glauconita, com valores insignificantes. Em geral, a unidade apresenta teores baixos em carbonatos, chegando a atingir 24% (MOMADE, op. cit.).

Após uma lacuna na sedimentação, devido a uma regressão marinha durante o Mioceno Superior e Plioceno Inferior, o mar, voltando sobre as camadas já depositadas, depositou sedimentos que variam de arenitos, arenitos argilosos a arenitos calcários, de grão médio a grosseiro, com fósseis de gastrópodes, foraminíferos e restos de algas da Formação de Santiago que ocorre à profundidade de 20 m abaixo do nível médio do mar, apresentando espessuras que variam de 10 m a 35 m. A composição química desta formação apresenta  $SiO_2$  com valores variando entre 50-70%, seguido de  $CO_2$  com teores que oscilam entre 15 e 24%, e o  $Al_2O_3$  com teores variando entre 2,5 e 5% (MOMADE, et al., 1996).

No Plioceno Médio ter-se-á iniciado um ciclo regressivo que culminou no Pleistoceno Inferior. Neste ciclo depositou-se o campo dunar representado na área de estudo pela Formação da Ponta Vermelha, constituída por areias vermelhas passando a amareladas que cobrem as Formações de Inharrime e Santiago, não aflorantes. A composição química das rochas desta formação revelou teores elevados de  $SiO_2$ , seguindo-se  $Al_2O_3$ .

Durante o Pleistoceno Superior outra importante regressão resultou um novo campo dunar, representado pela Formação de Malhazine, constituída por areias finas a grosseiras, mal consolidadas, com cores esbranquiçadas a avermelhadas. Mineralogicamente, o quartzo é o mineral dominante (98%), aparecendo também pequenas concentrações de ilmenita, leucoxena, monazita, silimanita, zircão e rutilo (MOMADE, op. cit.).

As transgressões e as regressões que continuaram no Holoceno depositaram as areias de dunas costeiras (Formação de Xefina), depósitos de praias (areias brancas) e os aluviões (argilas escuras fluviais com intercalações de níveis carbonatados e salífero).

As descrições dos perfis construtivos e litológicos dos poços de água localizados na área de estudo permitiram definir a seguinte seqüência litológica da base para topo: marga/argila cinzenta → arenito → areia fina a grosseira. Com os mesmos dados foi traçado um perfil na direção SW-NE (FIGURA 3.5). Para correlacionar o maior número

de estratigrafias possíveis foi utilizado poços que se situam sobre o perfil e os que estão afastados dele.

### **Marga/argila**

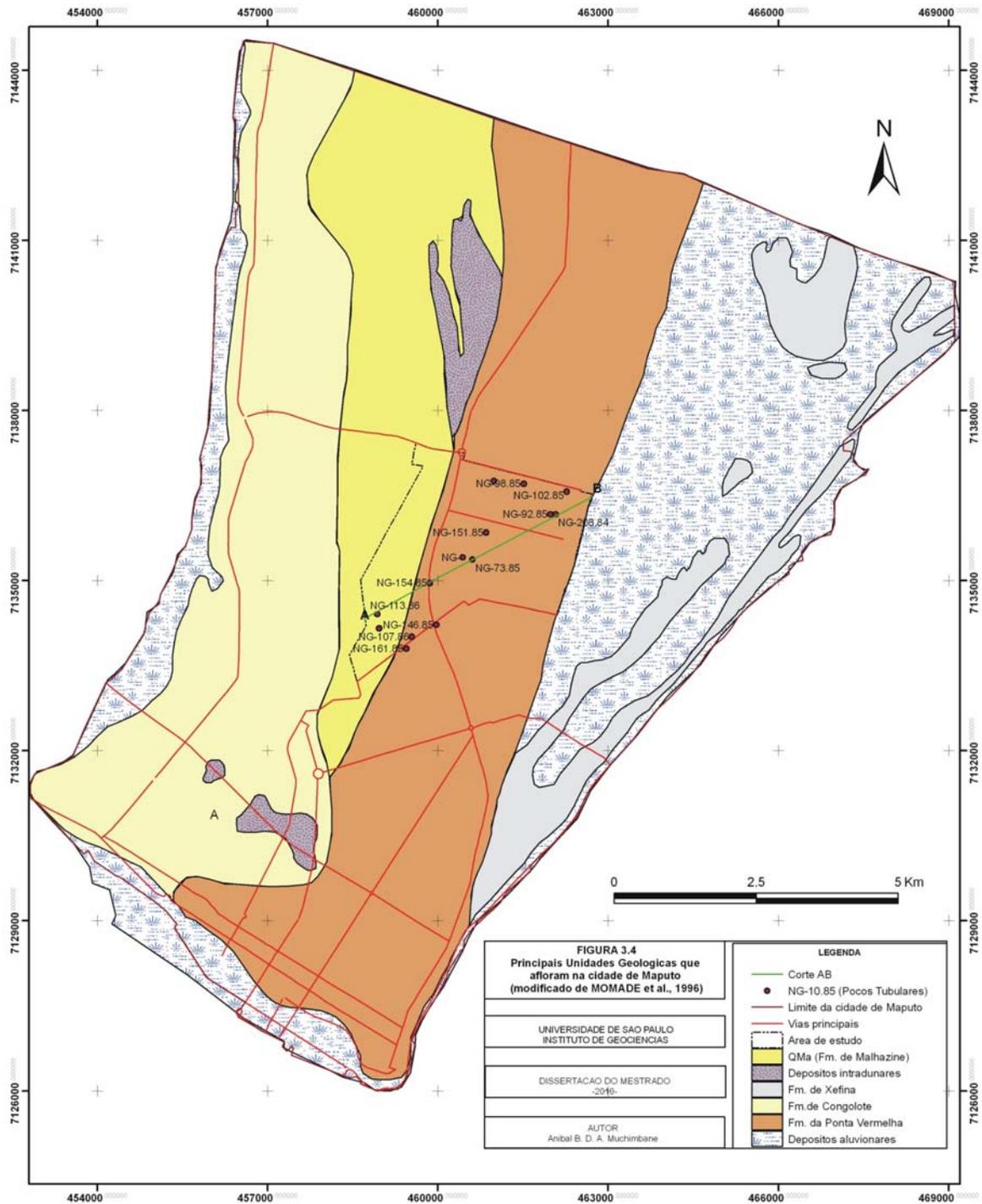
A base do aquífero na área de estudo é formada pela formação marga/ argila (marga cinzenta, às vezes argila). O topo desta camada é irregular, em geral encontra-se a profundidade que varia entre 10 e os 30 m abaixo do nível médio do mar.

### **Arenito**

A cima da camada de marga/argila aparece a formação de arenito com alguns metros de espessura situada a profundidade entre os 5 e os 30 m.

### **Areia fina a grosseira**

A sobrepor a formação arenítica aparece os depósitos de areias grosseiras a finas. Lugares existem em que as areias assentam diretamente sobre camada de argila (FIGURA 3.5).



**FIGURA 3.4- Principais unidades geológicas que afloram na cidade de Maputo (modificada de MOMADE, et al., 1996).**

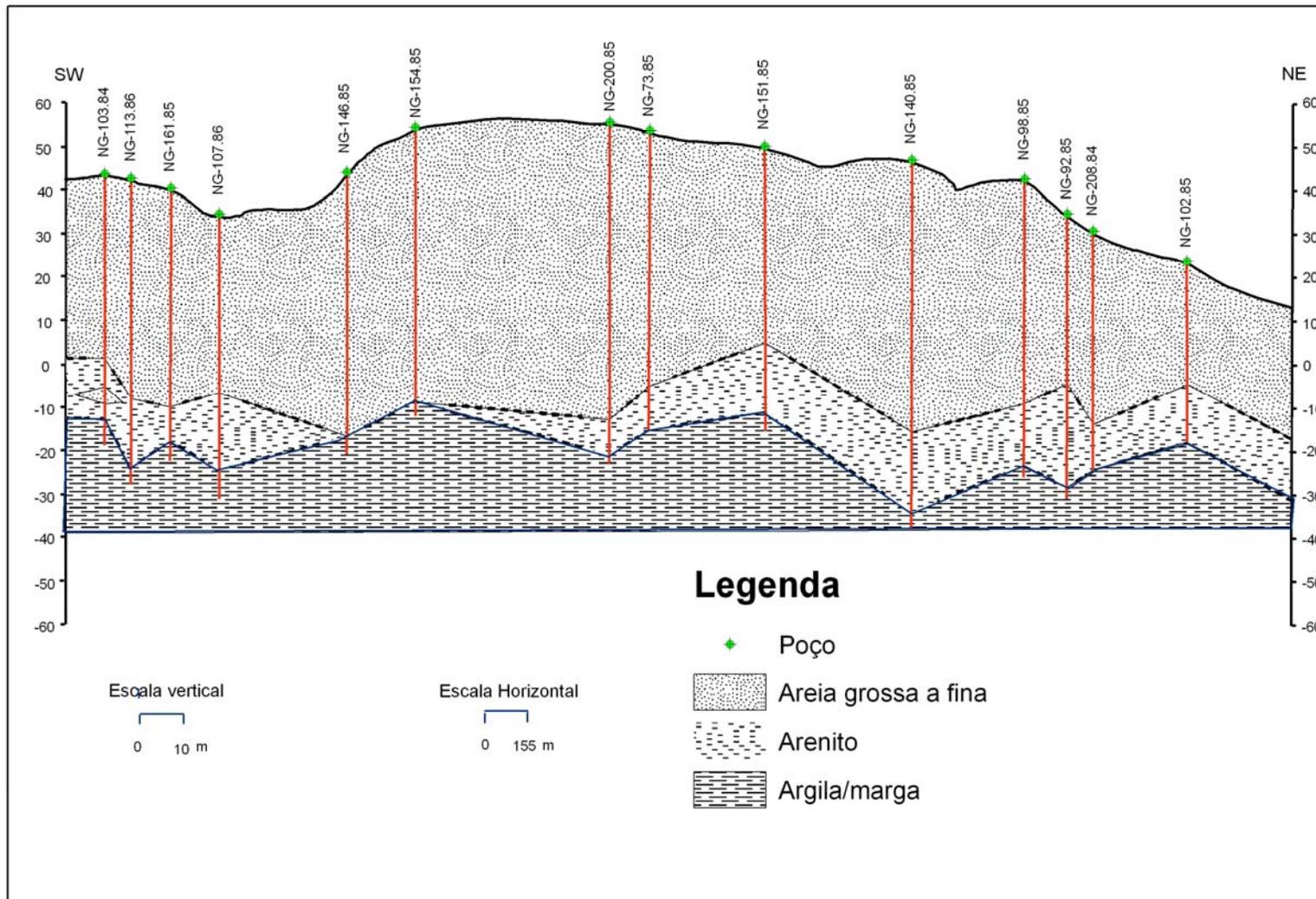


FIGURA 3.5- Seção geológica da área de estudo.

### 3.6 Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas no Município de Maputo são exploradas no sistema aquífero sedimentar formado pelos sedimentos Tércio - Quaternários. O substrato do aquífero é formado pela camada de marga argilosa a argila cinzenta (CHUTUMIA, 1987).

Regionalmente, distinguem-se duas unidades aquíferas. O Aquífero Superior, de natureza livre formada pela areias finas a grosseiras a pouco argilosa das dunas interiores e o Aquífero Inferior, constituído por arenitos e arenitos calcários. Os dois aquíferos são separados por uma camada semi-impermeável de areias argilosas (CHITUMIA, op. cit.).

Localmente, a ausência contínua da camada semi-impermeável (areias argilosas), entre as areias finas a grosseira e os arenitos, faz com que a circulação das águas destes dois setores se ligue, sem descontinuidade. Lugares existem onde as areias grosseiras assentam diretamente sobre a camada de argila, desenvolvendo condições de semi-confinamento.

O nível de água dos poços rasos varia nesta área entre 1,5 e 9,3 m de profundidade, com uma média de 3,8 m.

### 3.7 Clima

A cidade de Maputo está inserida na zona dos anticiclones subtropicais, que em conjunto com a depressão de origem térmica que se forma no continente africano no verão, constituem as principais forças de ação que condicionam a circulação atmosférica da região. Destas características resultam duas estações bem distintas: um período quente e chuvoso correspondente ao verão e que ocorre nos meses de Dezembro à Março e uma época seca e fresca que corresponde ao inverno, ocorrendo de Abril à Novembro. Estas duas estações estão intercaladas por curtos períodos de transição.

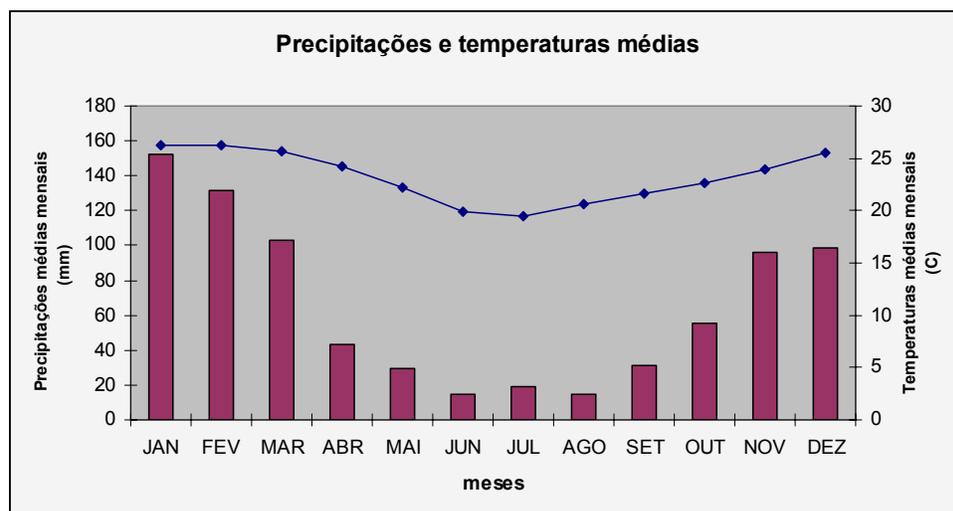
O clima é tropical úmido. A precipitação média anual é de 789,2 mm, sendo os anos 2.000 (1000,6 mm) e 2.003 (360,0 mm) o ano mais chuvoso e o mais seco da série de 30 anos, respectivamente.

A elevada precipitação ocorre nos meses mais quentes, de Dezembro à Março, com mais de 60% da precipitação total. Os valores da precipitação local foram obtidos do instituto Nacional de Meteorologia (INAM) medidos na Estação Meteorológica de Maputo (posição: 459789,7 E e 7183316,9 S). Adotou-se como precipitação a média mensal plurianual entre os anos de 1977 e 2006.

Há um predomínio das temperaturas mais ou menos elevadas, atingindo o máximo em Dezembro à Março. De Abril a Novembro as temperaturas são sensivelmente mais baixas, atingindo o mínimo em Junho e Julho (FIGURA 3.6). A temperatura média anual é de 25,5°C calculada a partir da média mensal plurianual da série dos 30 anos (1977-2006), TABELA 3.1.

**TABELA 3.1- Valores das precipitações (mm) e temperaturas médias mensais (°C).**

Mês	Precip. média mensal	Temp. média mensal
Jan.	152,4	26,2
Fev.	131,4	26,3
Mar.	103,3	25,7
Abr.	42,9	24,2
Mai.	29,5	22,2
Jun.	14,4	19,9
Ago.	15,0	20,6
Set.	30,8	21,7
Out.	55,4	22,7
Nov.	96,4	24,0
Dez.	98,9	25,5



**FIGURA 3.6- Precipitações e temperaturas médias mensais (1977– 2006).**

## **4. METODOLOGIA**

Foi escolhido o Distrito Urbano 4 para o estudo, por ser o mais populoso do Município de Maputo, sem água tratada e sem sistema de coleta e tratamento de esgoto doméstico.

### **4.1 Levantamento Institucional de Dados**

Inicialmente, foram visitadas as instituições públicas e privadas para levantamento de dados relativos à geologia, água subterrânea, saneamento, clima e outra informação da área de estudo, a Direção Nacional de águas (DNA), Instituto Nacional de Meteorologia (INAM), Direção Nacional de Geologia (DNG), Conselho Municipal da Cidade de Maputo (CMCM), Direção de Saúde da Cidade de Maputo, GEOMOC, PROFURO Internacional, instituições públicas e privadas que detém informação relativa.

### **4.2 Cadastro de Poços rasos e Tubulares**

Os trabalhos de campo envolveram duas etapas:

a) a primeira etapa consistiu no cadastro de todos os poços (privados e públicos) de água existentes na área de estudo, com a finalidade de obter dados de sua localização (coordenadas UTM), informações hidrogeológicas, avaliação dos aspectos da construção e conservação das obras de captação de água subterrânea.

Foram medidos “in situ” os parâmetros de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH, temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxigênio dissolvido ( $\text{mg}/\text{L}$ ) através do kit portátil do tipo multiparâmetro da marca WTW, modelo Multi 350i. Nos poços rasos foi medida a profundidade do nível freático.

Os dados de localização geográfica foram obtidos pelo uso de um aparelho GPS (Global Position System) marca Garmin 12.

O cadastro foi realizado nos meses de Janeiro a Março de 2009 e para sua realização utilizou-se a ficha de campo (FIGURA 4.1). Durante o trabalho de cadastramento foi mantido diálogo com os proprietários de poços e autoridades locais.



### 4.3 Amostragem e Análise da Água de Abastecimento

As análises físico-químicas e bacteriológicas tiveram como objetivo principal uma caracterização da qualidade da água consumida pela população, sua espacialização e, por conseguinte, estabelecer uma relação com o sistema de saneamento “in situ”, componente importante do saneamento básico.

Foram coletadas 26 amostras sendo 06 em poços rasos e 20 em poços tubulares. Este grupo de amostras foi definido com base nos seguintes critérios:

- Poços que funcionam constantemente, de forma a garantir uma constante renovação da água assegurando boa representatividade das águas do aquífero;
- Poços com representação espacial em função da densidade de poços, buscando uma distribuição mais homogênea possível ao longo da área estudada;
- Poços onde é retirada a água consumida pela população;
- Poços com autorização dos proprietários para o estudo.

A coleta foi realizada utilizando-se as próprias bombas elétricas instaladas nos poços tubulares. Em poços onde não existia a bomba, no caso dos poços rasos, foi usado como amostrador um balde inox, previamente lavado para a coleta de água.

Em cada poço, foram coletadas 03 amostras: um frasco de amostra preservada em ácido sulfúrico ( $\text{pH} < 2$ ), para análise do sódio e potássio; um frasco de amostra preservada em ácido nítrico ( $\text{pH} < 2$ ), para análise dos demais cátions; um terceiro frasco de amostra sem conservante para análise dos ânions e bacteriológicas. Todos os frascos foram congelados a uma temperatura inferior a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e enviadas para o LNHA onde foram analisadas. O parâmetro alcalinidade foi determinado no mesmo dia da coleta.

As técnicas analíticas empregadas na análise dos parâmetros físico-químicos no laboratório seguiram metodologia descrita no “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater”.

Os frascos depois de preenchidas com água foram devidamente numerados e anotados os locais e a data da amostragem. Os recipientes para a coleta de água foram fornecidos pelo próprio laboratório de análise (LNHA) e só foram abertos no momento de coleta.

No momento da coleta foram analisados “in situ”, os seguintes parâmetros: condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH e oxigênio dissolvido ( $\text{mg}/\text{L}$ ) utilizando aparelho portátil do tipo multiparâmetro da marca WTW, modelo Multi 350i. Este aparelho possui eletrodos para medição dos parâmetros mencionados que são calibrados, para obter resultados confiáveis.

Posteriormente às medições em campo, as amostras foram refrigeradas para conservação em caixas de isopor com gelo e enviadas para o laboratório a fim de analisar os parâmetros indicadores de contaminação da água subterrânea por sistemas de saneamento “in situ” ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e os *patogênicos*) e íons maiores ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{\text{total}}$ , *dureza total e alcalinidade total*) com objetivo de realizar uma caracterização hidroquímica com auxílio do programa Aquachem 4,0.

## **5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **5.1 Levantamento de dados**

A coleta de dados nas instituições públicas e privadas foi dificultada pela falta de colaboração de quase todas as entidades ao nível do município e inclusive nos bairros, principalmente pela desmotivação dos moradores. Trabalhos anteriores foram realizados na área de estudo sem que as populações tivessem tido conhecimento dos resultados dos mesmos.

Das empresas perfuradoras, apenas a DNG apresentou protocolos de sondagens (logs), mas muitos deles não têm nenhum significado científico uma vez que não estão georeferenciados, incluindo deficiência técnica dos dados.

### **5.2 Abastecimento de Água, Cadastro de Poços rasos e Tubulares**

A área de estudo não dispõe de rede de água tratada. Cem por cento (100%) dos moradores se utilizam das águas subterrâneas para suprir suas necessidades.

Foi cadastrado um total de 147 poços (101 poços tubulares e 46 poços rasos), dos quais 134 em uso (91,2%). Foram coletadas as amostras de água em 26 poços (FIGURA 5.1) para análises físico-químicas e bacteriológicas no laboratório Nacional de Higiene de alimentos e águas (LNHAA).

A fim de caracterizar a situação atual dos poços os mesmos foram classificados como:

- Em exploração;
- Desativados/abandonados (poços que algum dia foi explorado e os que nunca foram por inúmeros motivos).

De acordo com o cadastro realizado, os poços foram classificados como mostra a TABELA 5.1.

**TABELA 5.1- Situação atual dos poços.**

Situação atual	Nº de Poços		%	
	Poços rasos	Poços Tubulares	Poços rasos	Poços Tubulares
Em exploração	42,0	90,0	91,3	89,0
Desativado/ abandonado	4,0	11,0	8,7	11,0
Total	46,0	101,0	100,0	100,0

É possível pela FIGURA 5.1 observar que os poços rasos concentram-se ao longo da faixa de depressão (ou sopé de dunas), na parte ocidental da área do estudo, onde o nível estático da água está próximo a superfície. Os poços tubulares, obras que captam água no nível estático mais profundo, encontram-se distribuídos por toda área.

### **5.3 Características Técnicas de Construção de um Poço Tubular**

O tipo de configuração de um poço determina parcialmente o custo do poço. Poços de maior diâmetro são mais caros do que poços de diâmetros inferiores e poços com revestimento até a base são mais caros do que poços sem revestimento definitivo.

Os poços da área de estudo possuem um diâmetro de revestimento que varia de 4 a 6" (polegadas), na sua maioria revestido com tubo geomecânico (PVC), com profundidades que variam de 39,0 a 84,0 m, o nível estático de 8,5 a 36,7 m e são equipados com bomba submersa.

O método de perfuração que se tem conhecimento de ter sido usado é o rotativo com circulação de lama.

De acordo com a informação prestada por alguns proprietários, 99% dos poços tubulares foram construídos com apenas um revestimento interno de 4" ( $\approx 101,60$  mm) de PVC. Foram identificados três poços revestidos com tubo de aço.

## 5.4 Aspectos de Proteção Sanitária dos Poços de Captação

Devido à falta de normas de construção de poços para captação de água em Moçambique, em muitos deles se observa a falta ou o uso de medidas de proteção sanitária (locação, cimentação, laje e a tampa) incorreto.

### ▪ **Locação**

A literatura recomenda distâncias mínimas entre poço e possíveis fontes de contaminação/poluição. As principais fontes de contaminação dos aquíferos ou poços de água em área com o pobre saneamento básico são as latrinas, as fossas sépticas e os lixões. Recomenda-se que latrina/fossa séptica esteja alocada a 15 m do poço.

A ocupação de espaço na área de estudo sem o devido planejamento determina o local de construção de poços (tubulares e rasos) que, nestes casos dá-se a escassos metros das latrinas/fossas sépticas ou em lugares próximos de acúmulo de resíduos ou de embalagens de óleos (FOTOS 1 e 2).

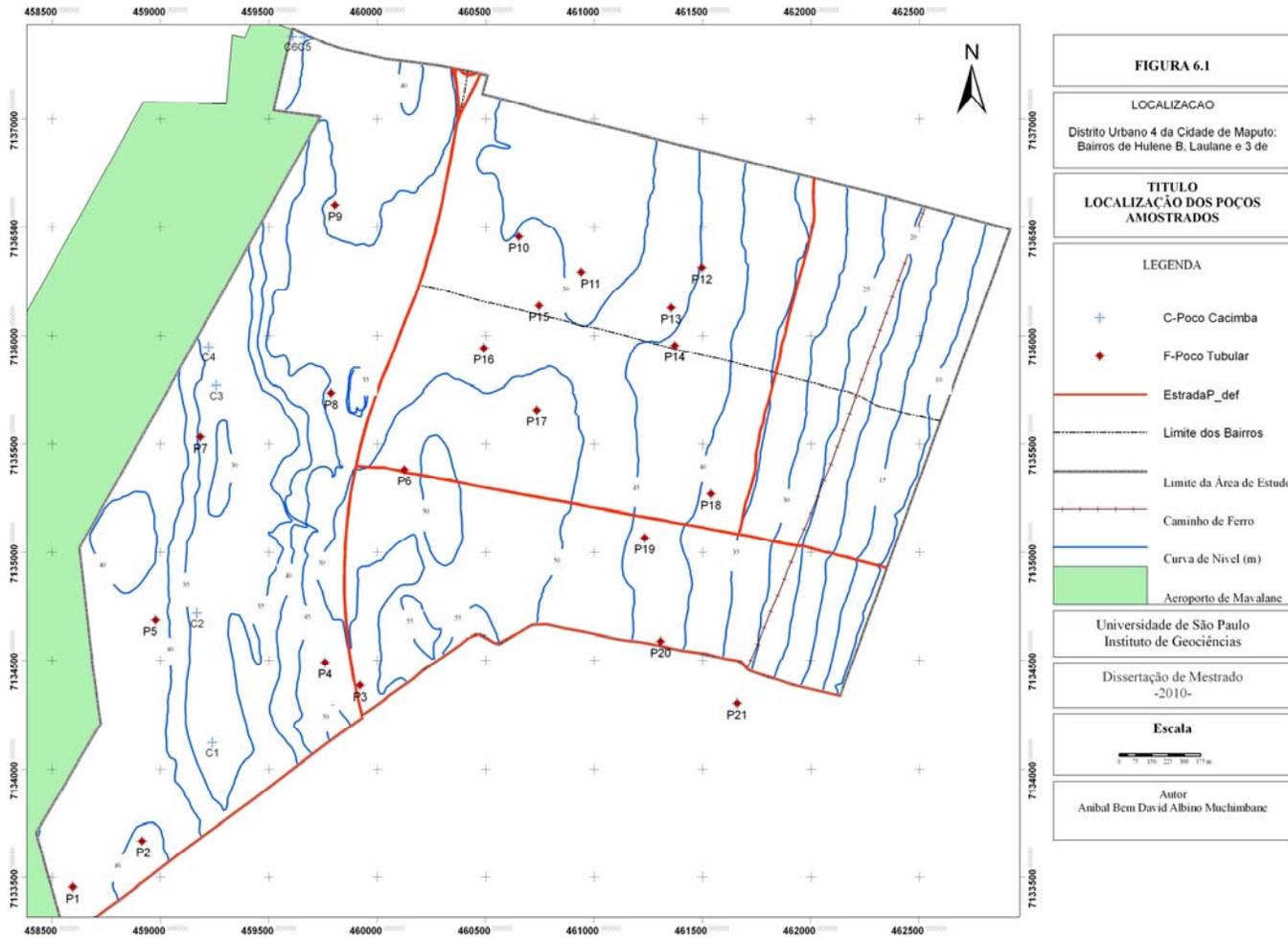
### ▪ **Cimentação**

Muitos poços não apresentam selo sanitário. A cimentação que além de impedir infiltrações superficiais ao longo do espaço anelar e isolar aquíferos da água de má qualidade, não é prática comum em Maputo (FOTO 3).

### ▪ **Laje de proteção**

A laje de proteção define uma área de segurança em volta do poço contra inundações. O concreto é colocado envolvendo o(s) tubo(s) de revestimento com certa espessura. A norma brasileira a ABNT (NBR-) define 1,0 m<sup>2</sup> por 10,0 cm de espessura concêntrica ao tubo de revestimento e com declividade para as bordas.

A FOTO 4, ilustra a situação de muitos poços na área de estudo sem selo, laje e muito menos a tampa, permitindo a contaminação direta do poço/aquífero por águas superficiais através do espaço anelar. Assim, estamos em face de um poço tecnicamente mal construído onde aqueles dispositivos de proteção não foram considerados.



**FIGURA 5.1- Localização dos pontos de amostragem.**



**FOTO 1- Poço instalado junto de uma fossa séptica.**



**FOTO 2- Poço localizado onde existe acúmulo de lixo.**



**FOTO 3- Exemplo de um poço sem selo e laje sanitária.**

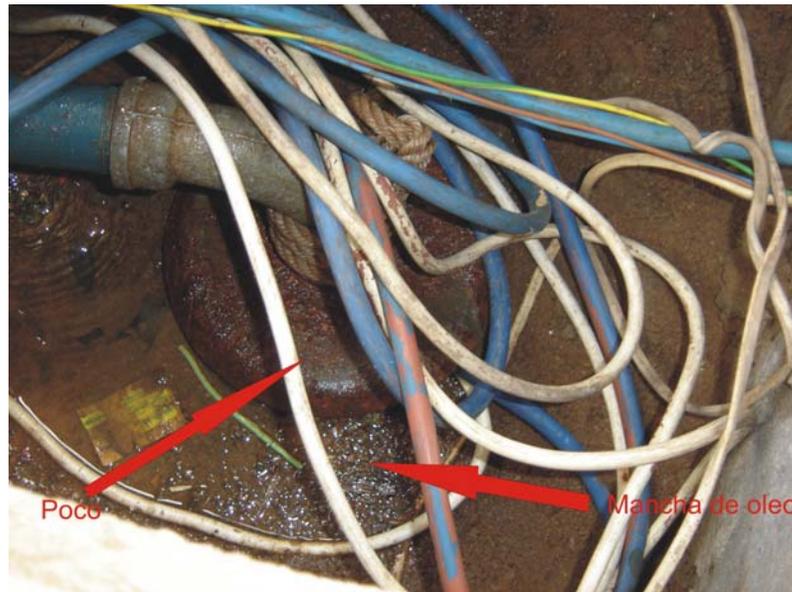


**FOTO 4- Poço sem cimentação, laje e tampa de proteção. Observa-se a saliência o tubo de revestimento está ao nível do solo e com o acúmulo de lixo ao redor dele.**

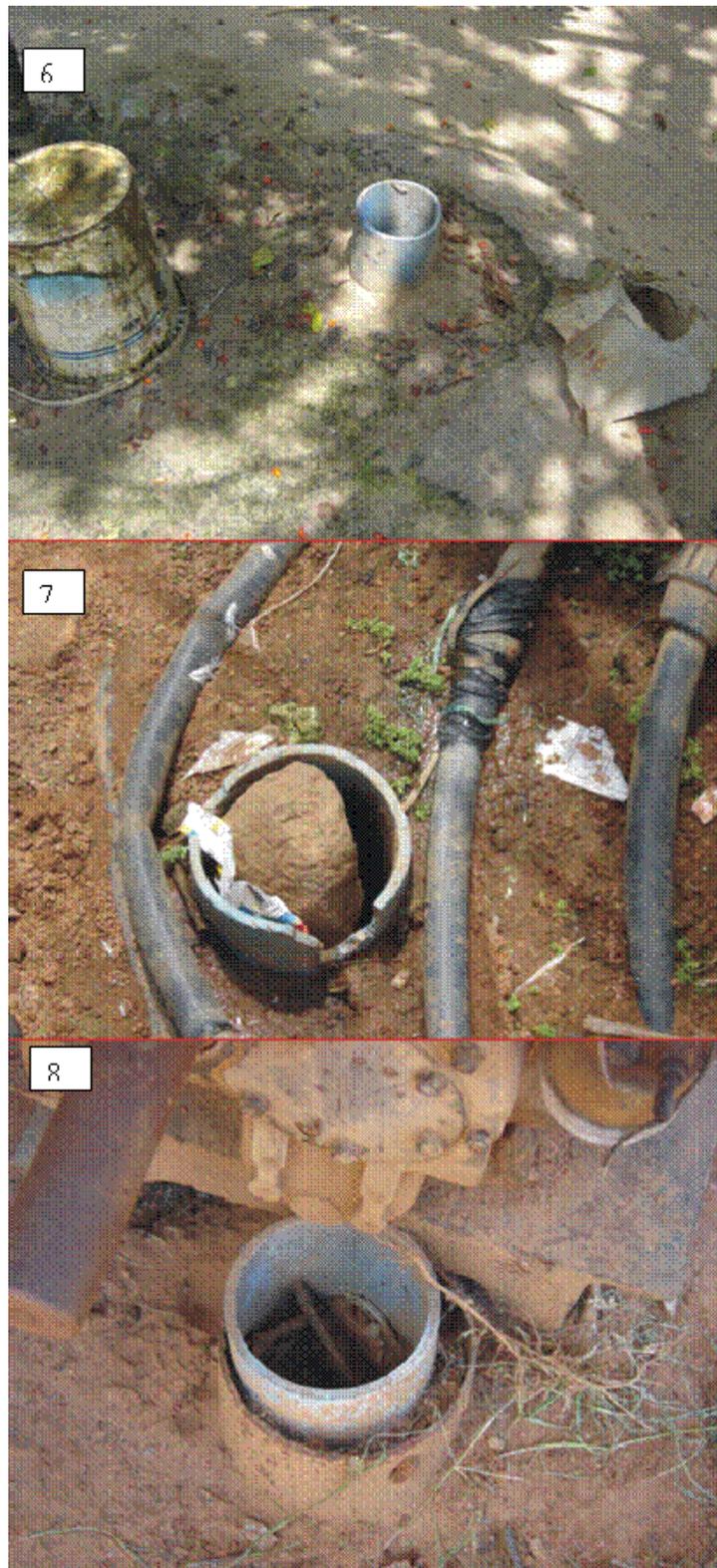
Depois de instalado o equipamento de bombeamento, a boca de poço deve ser fechada com uma tampa, que pode ser fixada por diversos processos. Esta tampa serve para impedir a penetração de corpos sólidos ou de águas contaminadas de origem superficial no interior do poço.

Maior número dos poços está localizado em caixas abaixo da superfície do solo (pavimento) o que proporciona a concentração de águas sujas de origem superficial, que atingem facilmente o interior do poço através da boca, afetando a qualidade da água subterrânea. Segundo os proprietários, isto é feito para proteger a infra-estrutura dos larápios que furtam as bombas (FOTO 5).

Os poços abandonados/desativados constituem sérios problemas no que concerne a proteção das fontes de captação e do aquífero. As FOTOS 6, 7 e 8, mostram poços abandonados/desativados, não tamponados, isto é, não foram selados para prevenir qualquer contaminação do manancial subterrâneo.



**FOTO 5- Poço com deficiências técnicas de construção devido à falta de cimentação, laje de proteção e a saliência do tubo de revestimento abaixo da superfície.**



**FOTOS 6, 7 e 8- Poços desativados sem laje, selo sanitária e tampa para prevenir possível contaminação.**

## **5.5 Características Técnicas de Construção de Poços Rasos**

Os poços rasos possuem diâmetros que variam de 0,5 a 2,0 m e com níveis de água de 1,49 a 9,3 m. O risco de contaminação destas captações por atividades antrópicas é maior ainda principalmente devido às características construtivas.

O revestimento dos poços rasos é uma das partes mais importantes da obra de captação, pois ele desempenha as funções de evitar o desmoronamento das paredes durante e após a escavação, proporciona a proteção do poço de infiltrações superficiais, além de permitir e facilitar a limpeza do poço.

O acabamento dos poços na área de estudo é variado. É possível encontrar poços revestidos de anéis de concreto, de tijolos, de tambores metálicos e de pneus usados. A falta de uma tampa segura e da laje de proteção são as características comuns de todos eles (FOTOS 9,10 e 11).



**FOTOS 9,10 e 11- Poços rasos revestidos de material não adequado e sem o mínimo e estrutura de proteção.**

É fundamental a colocação de uma tampa, que ofereça uma vedação, sobre proteção superior ou o revestimento. A OMS recomenda que a parte saliente do poço fique pelo menos 30,0 cm do solo, para garantir uma proteção adequada contra enxurradas, acidentes e queda de pequenos animais.

Durante o trabalho de campo em entrevista com uma anciã foi contatado que uma criança havia morrido após sofrer a queda no poço, obrigando-a a retirar toda água até secá-la.

A FOTO 12 mostra um poço abandonado transformado num depósito de lixo.

O sistema corda-balde é o meio utilizado para tirar água em todos os poços rasos e pode ser considerado um dos principais veículos de contaminantes, já que na maioria dos casos não apresenta os cuidados higiênicos adequados (FOTO 13 e14).



**FOTO 12- Poço raso abandonado que virou depósito de lixo.**



**FOTOS 13 e 14- Fotos ilustrando uma situação em que falta de tampa do poço potenciam a contaminação direta da água subterrânea. Várias pessoas introduzem no poço ao mesmo tempo o sistema balde-corda sobre condições de higiene precárias.**

## 5.6 Esgotamento Sanitário

Não foi possível cadastrar o sistema de saneamento, pela falta de colaboração dos moradores. A partir do depoimento dos secretários dos bairros e de moradores, pode-se concluir que os sistemas de disposição de excretas humanas são principalmente as fossas sépticas e as latrinas, construídas sem obedecer a nenhuma norma (FOTO 15).

As latrinas e as fossas sépticas possuem dimensões que vão até 1,5 m de diâmetro e 2,5 m de profundidade (informação verbal de moradores).

A maior parte das fossas sépticas nunca chegou a encher. Este aspecto pode estar relacionado com o fato de as referidas instalações serem relativamente novas. Para os casos em que a fossa séptica chegou a encher, o esvaziamento foi manual. No caso das latrinas ficarem cheias, a opção é a construção de uma nova latrina, mas se fizerem o esvaziamento, o método mais usado é o manual.



**FOTO 15- Estado que se encontra o tipo de sistema de saneamento “in situ” na área de estudo.**

## 5.7 Hidroquímica

Na avaliação das propriedades da água a ser usada num suprimento público, temos que ter em consideração seja as suas características químicas e bacteriológicas naturais sejam as características adquiridas devido à presença e atividade humana. De forma geral, a água é considerada potável quando pode ser consumida pelo Homem sem riscos para sua saúde. Para a definição de potabilidade existem normas e padrões internacionais, mas de maneira geral, cada país possui a sua própria legislação de águas, em função das peculiaridades locais.

As amostras de água foram analisadas no Laboratório Nacional de Higiene de Alimentos e Águas (LNHAA) para determinar os seguintes parâmetros químicos e bacteriológicos:  $HCO_3^-$ ,  $CaCO_3$ ,  $Fe^{total}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$ , dureza total, alcalinidade total, coliformes totais, coliformes fecais, escherichia coli, estreptococos fecais e salmonelas.

No campo e em cada ponto de amostragem foi analisada a condutividade elétrica, pH, temperatura e oxigênio dissolvido da água.

Devido ao objetivo principal da análise hidroquímica (contaminação ambiental e potabilidade da água para consumo humano), os resultados das análises foram comparados com os limites máximos admissíveis estabelecidos pelo Ministério da Saúde, Moçambique (MISAU, 2004), World Health Organization (WHO, 2007), Portaria 518/2004 Ministério da Saúde- Brasil e pela United States Environmental Protection Agency (USEPA apud SZIKSZAY, 1993) TABELA 5.2, referentes aos indicadores bacteriológicos e químicos, particularmente o nitrato, que quando presentes em concentrações elevadas podem ser prejudiciais à saúde humana. Moçambique não possui padrões de referência de qualidade ambiental, muito menos para as águas subterrâneas.

Com base no Diploma Ministerial n° 180/2004 de 15 de Setembro, o MISAU, elaborou o Regulamento sobre a qualidade da água para consumo humano. Foram adotadas definições entre as quais destacamos:

Água Potável— aquela que é própria para consumo humano, pelas suas qualidades organolépticas, físicas, químicas e biológicas.

Limite Máximo Admissível (LMA)– valor máximo admissível para um determinado parâmetro físico, organoléptico, químico ou microbiológico em água destinada ao consumo humano.

**TABELA 5.2- Limites Máximos Admissíveis para os padrões de potabilidade da água para consumo humano (MISAU, 2004; Portaria MS n. 518/2004 e WHO, 2007).**

Parâmetro	Unidade	MISAU/2004	Portaria MS n° 518/2004	WHO/2007
Cálcio	mg/L	50		
Magnésio	mg/L	50		
Sódio	mg/L	200	200	200
Cloreto	mg/L	250	250	250
Sulfato	mg/L	250	250	250
Nitrato	mg/L	50	10 (NO <sub>3</sub> - N)	50
Nitrito	mg/L	3	1 (NO <sub>2</sub> - N)	3
Amônia	mg/L	1,5	1,5	
Amônio*	mg/L			
Coliformes fecais	N° de colônias/100 mL	ausência	ausência	ausência
Coliformes fecais	N° de colônias/100 mL	ausência	ausência	ausência
Escherichia coli	N° de colônias/100 mL	ausência	ausência	ausência
Salmonela	N° de colônias/100 mL	ausência	ausência	ausência
* 0,06 mg/L -USEPA apud SZIKSAY, 1993				

### 5.7.1 Validade das Análises

Antes de proceder à análise dos resultados obtidos pelo estudo químico foi calculado o erro referente às determinações feitas em porcentagem (TABELA 5.3). O erro foi determinado através do balanço iônico, a partir dos valores em mil equivalentes (meq) de ânions ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  e  $NO_3^-$ ) e cátions ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ), que é dado por:

$$e\% = \left[ \frac{r\sum p - r\sum n}{r\sum p + r\sum n} \right] \cdot 100$$

Onde,  $r\sum p$  é a concentração total dos cátions e  $r\sum n$  é a concentração total dos ânions, em mil equivalentes por litro (meq/L).

Para um coeficiente de erro não superior a 10 a análise pode ser considerada como correta. Altos valores de e%, podem indicar: erro nos cálculos; presença de íons não analisados em concentrações apreciáveis; águas pouco mineralizadas, tais como águas da chuva. Os métodos analíticos padrões são menos precisos para baixas concentrações iônicas, podendo, assim, levar a valores elevados de e%, sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (FEITOSA et al., 2008).

Os laudos emitidos pelo laboratório (LNHAA), encontram-se no Anexo 1.

**1TABELA 5.3 - Resultados das análises físico-químicas das Águas Subterrâneas.**

Parâmetro (unid.)	Pontos de Amostragem					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
pH	5,6	4,9	6,2	6,1	6,6	6,2
Temperatura (°C)	26,8	28,0	28,5	26,8	26,3	26,5
Cond. elétrica (mS/cm)	1390	813	737	564	943	671
O.D. (mg/L)	0,69	0,6	0,9	0,67	0,29	0,46
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	250	116	120	140	128	76
Alcal. Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	11	37,4	15,4	132	101,2	22
Cloreto (mg/L)	243	83,3	79,7	136,5	90,4	79,7
Sulfato (mg/L)	38,89	47,18	36,78	78,73	27,29	78,73
Carbonato (mg/L)	0	0	0	0	0	0
Bicarbonato (mg/L)	13,42	456	18,78	16,1	123,46	26,8
Nitrato (mg/L)	12,47	17,99	52,78	6,67	10,97	6,75
Nitrito (mg/L)	<0,03	<0,03	0,04	<0,03	<0,03	<0,03
amônio (mg/L)	0,18	0,1	0,85	0,12	1,02	<0,04
Sódio (mg/L)	64,4	39,6	34	15,3	15,3	30,4
Potássio (mg/L)	23,9	25,9	23,9	28,6	12,8	11,9
Cálcio (mg/L)	14,4	19,2	22,4	29,6	28	20,8
Magnésio (mg/L)	52,2	16,6	15,6	16,1	14,1	5,8
Ferro total (mg/L)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Erro (%)	2,45	-40,23	3,92	-16,24	-19,67	-16,92

Continuação da TABELA 5.3

Parâmetro (unid.)	Pontos de Amostragem									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
pH	7,2	7,7	6,1	6,7	7,5	6,5	5,1	5,9	7,1	7,0
Temperatura (°C)	25,8	27,3	27,5	28,4	26,3	26,7	28,3	27,5	28,8	26,7
Cond. elétrica (mS/cm)	543	2030	1080	1392	540	624	819	518	580	554
O.D. (mg/L)	1,48	1,31	0,47	0,9	1,04	0,65	1,16	1,1	0,59	0,49
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	62	262	220	268	96	160	150	72	110	144
Alcal. Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	61,6	83,6	17	26	70,4	45,6	11	19,8	72	79,2
Cloro (mg/L)	101,03	260,5	154,21	196,7	79,7	118,76	125,8	101,03	101,03	83,31
Sulfato (mg/L)	28,37	9,44	0,5	2,28	5,65	3,3	1,08	6,49	13,64	21
Bicarbonato (mg/L)	75,1	102	21,4	32,2	85,8	37,4	13,42	24,1	88,5	96,6
Nitrato (mg/L)	22,02	14,98	30,16	13,65	45,5	8,97	8,65	48,86	1,51	67,7
Nitrito (mg/L)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
amônio (mg/L)	<0,04	0,12	0,11	0,06	<0,04	0,13	0,26	<0,04	0,07	<0,04
Sódio (mg/L)	43,3	144,2	116,75	34,4	31,6	86	34,6	33,4	30,4	46,6
Potássio (mg/L)	3	7,1	20,5	25,9	7,4	10,9	15,8	8,6	3,6	4
Cálcio (mg/L)	8,8	57	34,5	20	31,3	14,4	13,6	12	27,2	30,5
Magnésio (mg/L)	9,7	29,3	32,7	53,2	4,4	31,7	28,3	10,2	10,2	16,6
Ferro total (mg/L)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	142	<0,2
Erro (%)	-22,06	10,83	31,88	9,02	-12,60	27,77	11,52	-14,21	-11,92	-4,03

Continuação da TABELA 5.3

Parâmetro (unid.)	Pontos de Amostragem									
	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
pH	7,0	5,6	7,8	7,7	6,5	7,4	6,8	7,6	7,3	7,9
Temperatura (°C)	27,3	28,0	27,2	27,7	26,6	28,6	25,5	27,4	29,9	28,1
Cond. elétrica (mS/cm)	489	656	458	494	625	350	477	547	941	426
O.D. (mg/L)	0,6	1,12	0,88	1,43	0,52	0,22	0,56	0,42	0,62	0,71
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	104	80	80	130	156	144	84	172	196	148
Alcal. Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	66	11	81,4	96,8	81,4	81,4	37,4	121	121	110
Cloro (mg/L)	97,49	101,03	79,76	65,58	118,76	171,93	278,28	274,74	384,63	196,75
Sulfato (mg/L)	2,3	21	2,3	0,5	4	2,8	47,18	5,8	14	2,2
Bicarbonato (mg/L)	80,5	13,4	81,4	118	99,3	99,3	45	147,6	147,6	90,2
Nitrato (mg/L)	57,69	178,9	31,55	61,51	47,86	25,64	30,9	38,29	11,14	32,12
Nitrito (mg/L)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
amônio (mg/L)	0,07	0,09	0,09	0,1	0,25	0,08	0,1	0,19	1,66	<0,04
Sódio (mg/L)	51	63,6	47,5	45,6	59,8	54	69	74	92	61
Potássio (mg/L)	5,2	4,4	3,4	5,6	9,5	33	5,9	5,6	10,9	3,8
Cálcio (mg/L)	22,4	4,8	27,2	28	24	48	19,2	31,3	66,5	9,6
Magnésio (mg/L)	11,7	16,6	3	14,6	23,4	18	16,6	23	7,3	30,2
Ferro total (mg/L)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,27	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Erro (%)	-6,31	-17,33	-4,75	-0,43	1,40	1,08	-29,34	-22,86	-24,13	-13,79

## 5.7.2 Resultados Laboratoriais

### 5.7.2.1 Parâmetros físico-químicos

Os resultados obtidos das análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas coletadas nos poços tubulares e rasos são apresentados na TABELA 5.3.

Os poços C1 a C6 correspondem a poços rasos, que apresentam profundidade média de 5,4 m e exploram o aquífero freático de dunas (primeiro aquífero). Os poços P1 a P20 correspondem aos poços tubulares profundos que apresentam profundidade média de 60 m, variando de 39 m a 84 m e explora o aquífero do arenito (segundo aquífero).

#### ▪ **Temperatura**

A temperatura das águas subterrâneas é, em geral, muito pouco variável e um pouco superior à média anual da temperatura atmosférica da região (25,5°C). As águas analisadas pertencem a um sistema de circulação local a intermédio, na qual a profundidade e o grau geotérmico não exercem grande influência sobre a sua temperatura. Desta forma observa-se que as águas subterrâneas analisadas apresentam uma temperatura média de 27,4°C.

#### ▪ **Condutividade Elétrica (CE), pH e Oxigênio Dissolvido (OD)**

A condutividade elétrica é a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica e está diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons. A água quimicamente pura apresenta CE muito baixa.

O pH é a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes. O pH é essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água. Varia de 1 a 14 sendo neutro com valor 7, ácido com valores inferiores a 7 e alcalino ou básico com valores superiores a 7.

A água subterrânea amostrada apresentou variação de pH de 4,9 a 7,9. A norma do MISAU, 2004; Portaria 518-MS e WHO (2007), estabelece que o pH da água destinada ao abastecimento público deve situar-se entre 6,5 e 8,5.

Do total de amostragem realizada na área de estudo, 30,7% das águas analisadas são impróprias para consumo humano por possuir valor de  $\text{pH} < 6,5$ .

A condutividade elétrica média das águas subterrâneas analisadas foi de  $740,8 \lambda\text{S}/\text{cm}$ , enquanto a média do pH foi de 6,6. Os resultados de condutividade elétrica e do pH, mostram de modo geral, que as águas dos poços rasos possuem a condutividade mais elevada ( $\approx 853,0 \lambda\text{S}/\text{cm}$ ) que a média da área e mais ácidas ( $\text{pH} \approx 5,9$ ) enquanto as águas dos poços mais profundos são caracterizam-se por possuir condutividade média de  $\text{CE} \approx 707,15 \lambda\text{S}/\text{cm}$  e com valor de pH próximo à neutralidade (6,92).

O pH da água subterrânea é controlado pela relação dióxido de carbono dissolvido, carbonatos e bicarbonatos. Para valores de  $\text{pH} < 8,3$  a quantidade de íon carbonato pode ser considerada nula (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1996), daí, o pH das águas subterrâneas estudadas é controlado pelo  $\text{CO}_2$  dissolvido e íon bicarbonato.



O oxigênio dissolvido da água subterrânea dos poços rasos e tubulares apresentou valores médios de 0,6 mg/L e 0,8 mg/L, respectivamente. Porém, observa-se que mais de 50% dos poços (rasos e tubulares) possui valores maiores que 0,5 mg/L.

#### ▪ **Alcalinidade Total**

A alcalinidade é definida como a capacidade de uma água neutralizar ácidos, sendo uma consequência direta da presença ou ausência de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. A distribuição destas três formas na água é função de pH. Não tem significado sanitário para água potável, mas em elevadas concentrações pode conferir gosto amargo à mesma.

Os poço rasos e tubulares da área estudada apresentaram valores de alcalinidade em mg/L de  $\text{CaCO}_3$  variando de 11 a 132 e 11 a 121, respectivamente. O valor médio das águas coletadas nos poços rasos e tubulares é de 53,16 mg/L e 64,68 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente.

Segundo FEITOSA et al., (2008), se tomarmos em conta o pH, a água da área de estudo pode ser classificada como alcalinidade de bicarbonatos ( $4,6 > \text{pH} < 8,3$ ).

### ▪ **Dureza Total**

A dureza de uma água é definida como o poder de consumo de sabão por determinada água ou a capacidade da água neutralizar o sabão pelo efeito do  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  ou outros elementos como  $Fe$ ,  $Mn$ ,  $Cu$ ,  $Ba$ , etc.

Em geral, usa-se o teor de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  de uma água, expresso em teores de  $CaCO_3$ , para definir a dureza. Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados.

A dureza em determinadas concentrações, causa sabor desagradável a água e pode ter efeitos laxativos, reduz a formação de espuma, implicando num maior consumo de sabão, causa incrustação nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores.

As análises realizadas mostram que 57,69% das amostras apresentaram dureza entre 100 e 200 mg/L de  $CaCO_3$  e podem ser classificadas como intermediária, 26,92% como mole (<100 mg/L) e 15,39% classificadas como duras (>200 mg/L). As águas da área de estudo apresentam valores abaixo do limite recomendado (500 mg/L de  $CaCO_3$ ).

### ▪ **Cálcio ( $Ca^{2+}$ )**

As amostras de água subterrânea apresentaram teores de  $Ca^{2+}$  compreendidos entre 4,8 e 66,5 mg/L. O valor médio de  $Ca^{2+}$  nas águas rasas e profundas foi de 22,4 e 27,8 mg/L, respectivamente. O P19 (66,5 mg/L) foi o poço que apresentou teores acima do limite de potabilidade estabelecido pelo MISAU (50 mg/L).

### ▪ **Magnésio ( $Mg^{2+}$ )**

O  $Mg^{2+}$  apresenta propriedades similares ao  $Ca^{2+}$ , porém, é mais solúvel e mais difícil de precipitar, ocorrendo, em geral, sob a forma de bicarbonato. Em geral, as águas subterrâneas apresentam teores mais frequentes no intervalo de 1 a 40 mg/L (FEITOSA, et. al., 2008).

As amostras de água subterrânea, apresentaram concentrações do íon  $Mg^{2+}$  entre 3,0 e 53,2 mg/L. O  $Mg^{2+}$  nas águas analisadas provavelmente está relacionado

com a presença de sedimentos de origem marinha intercalados na Formação de Inharrime, formação considerada a base do sistema aquífera regional (MOMADE et al., 1996).

- **Ferro total ( $Fe^{total}$ )**

O ferro ocorre sob a forma de íon ferroso ( $Fe^{2+}$ ) e do íon férrico ( $Fe^{3+}$ ). O íon ferroso pode ocorrer em solução em águas neutras ou levemente ácidas, sendo instável na presença do ar, no qual se oxida para a forma ( $Fe^{3+}$ ) e precipita.

O ferro foi registrado em concentrações acima do limite de potabilidade (0,3 mg/L) no poço P9 (149 mg/L), localizado no extremo noroeste da área de estudo, a aproximadamente 500 metros da Avenida Julius Nyerere. 149 mg/L é uma concentração bastante elevada.

- **Sódio ( $Na^+$ )**

O  $Na^+$  é o principal responsável pelo aumento constante da salinidade das águas naturais do ponto de vista catiônico. Há, em geral, um aumento gradativo dos teores de sódio nas águas subterrâneas, a partir da zona de recarga, em direção às suas porções mais confinadas.

As concentrações de sódio nas águas subterrâneas variaram de 15,3 mg/L até 144,22 mg/L, com a média de 54,5 mg/L. As maiores concentrações ocorreram em amostras coletadas nos poços tubulares, porém abaixo do limite de potabilidade (200 mg/L).

- **Potássio ( $K^+$ )**

As concentrações médias do íon  $K^+$  nas águas dos poços rasos foram de 21,16 variando de 11,9 a 28,6 mg/L e nos poços tubulares de 9,70 mg/L, variando de 3,0 à 28,6 mg/L.

As concentrações de  $K^+$  observadas nas amostras são bem inferiores às de sódio, apesar destes elementos pertencerem ao mesmo grupo dos metais alcalinos, seus comportamentos nos processos de solubilização são diferentes. O íon  $K^+$  é

facilmente removido seletivamente da água, através da troca iônica, a adsorção por argilas e adsorção pelas plantas.

Em geral, os teores de  $K^+$  nas águas subterrâneas são inferiores a 10,0 mg/L, sendo mais freqüentes valores entre 1,0 e 5,0 mg/L.

Segundo ENH, (1982 apud MOMADE et al., 1996), a provável origem do  $K^+$  nestas águas subterrâneas pode ser da dissolução dos depósitos salinos, intercalados na Formação de Inharrime e, do feldspato de potássico da formação da Malhazine.

#### ▪ **Bicarbonato**

A origem de bicarbonato nas águas subterrâneas está principalmente relacionada aos processos que produzem o gás carbônico no solo através da decomposição e oxidação da matéria orgânica, e a respiração das raízes das plantas. A dissolução do  $CO_2$  na água forma o ácido carbônico ( $H_2CO_3^+$ ), que se dissocia em  $H^+$  e  $HCO_3^-$ .

As concentrações do íon carbonato em águas analisadas ficaram entre 13,4 e 456,0 mg/L, com média de 88,5 mg/L. Particularmente, nas águas coletadas em poços tubulares a média foi de mais elevada, de 110,2 mg/L, com valores compreendidos entre 13,4 e 147,6 mg/L.

#### ▪ **Cloreto**

O cloreto, em geral, é muito solúvel e estável em solução, logo, dificilmente precipita. O íon cloreto apresenta comportamento geoquímico bastante peculiar. Ele não oxida e nem se reduz, nem é significativamente adsorvido na superfície de minerais, e participa pouco nos processos biológicos.

A presença do cloreto na água se torna objetável quando acima de 250 mg/L, devido ao gosto salino, quando o cátion presente é o sódio. Entretanto, quando os cátions predominantes são o cálcio e o magnésio, teores de até 1.000 mg/L- *Cl* não dão gosto característico à água.

As concentrações do íon cloreto em águas de poços tubulares apresentam-se entre 65,58 e 384,65 mg/L, com média de 154,55 mg/L. Nas águas de poços rasos a média é de 118,76 mg/L, com valores mínimo e máximo compreendidos entre 79,7 e

243,0 mg/L, respectivamente. Destes dados, verificou-se que a água dos P2 (260,5 mg/L), P17 (278,28 mg/L), P18 (274,74 mg/L) e P19 (384,63 mg/L), apresentaram teores acima de limite de potabilidade (250 mg/L).

As prováveis origens da elevada concentração de cloreto nas águas destes poços podem estar associadas à influência da cunha salina provocada pela super-exploração dos poços; dissolução dos sedimentos de origem marinha contidos na Formação de Inharrime; ou à contaminação por fossas sépticas.

#### ▪ **Compostos de Nitrogênio**

Os compostos nitrogenados presentes nas águas subterrâneas estão intimamente relacionados com o ciclo do nitrogênio.

Das 26 amostras analisadas, 25 apresentaram  $NO_2^-$  abaixo do limite de detecção (0,03 mg/L). O valor da concentração da única amostra na qual foi detectado o íon  $NO_3^-$ , foi bastante baixo (C3- 0,04 mg/L).

O valor médio de  $NO_3^-$  nas águas dos poços rasos foi 17,93 mg/L, sendo 6,67 e 52,78 mg/L valores mínimos e máximos, respectivamente. Nos poços tubulares a concentração média foi de 38,88 mg/L, com mínimo e máximo variando entre 1,51 e 178,9 mg/L, respectivamente.

Ao se analisar especialmente as concentrações de  $NO_3^-$  e, tomando o valor de alerta utilizado como crítico para poços com indício de contaminação da água (5,0 mg/L) (CETESB, 1997), pode-se concluir que 96,15% das águas apresenta níveis elevados de nitrato (FIGURA 6. 2 ).

Os valores de nitrato acima do limite de potabilidade (45,0 mg/L de  $NO_3^-$  ou  $10 NO_3^- - N$ ), estabelecido pela Portaria 518/2004 MS-Brasil, foram registrados principalmente nos poços tubulares situados na região topograficamente mais elevada (extremo nordeste da área), FIGURA 5.2. Os poços que apresentaram esses teores são P10 (67,7 mg/L), P11 (57,69 mg/L), P12 (178,9 mg/L), P14 (61,51 mg/L), C3 (52,78 mg/L), P8 (48,86 mg/L), P15 (47,86 mg/L).

Outros poços analisados mostraram a presença de  $NO_3^-$  com concentrações abaixo do limite de potabilidade, mas bem acima do valor de alerta: P1 (22,02 mg/L), P2

(14,98 mg/L), P3 (30,16 mg/L), P4 (13,65 mg/L), P13 (31,55 mg/L), P16 (25,64 mg/L), p17 (30,9 mg/L), p18 (38,29 mg/L), P19 (11,14 mg/L), P20 (32,12 mg/L), C1 (12,47 mg/L), C2 (17,99 mg/L) e C5 (10,97 mg/L).

O  $NO_3^-$  ocorre na água subterrânea em geral em pequenas concentrações, representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica. O tipo de rocha não influi na variação do teor deste íon e graças a isso, trata-se de um elemento, cuja elevação do teor nas águas subterrâneas, indica a influência de fontes de contaminação antrópica e neste caso valores altos encontrados nas amostras de água sugerem uma contaminação por esgotos domésticos.

O cátion  $NH_4^+$  produto da decomposição da matéria orgânica mediante a participação de bactérias especializadas. Os valores detectados de  $NH_4^+$  atingiram 1,66 mg/L, bastantes superiores ao máximo permitido pelo padrão de potabilidade (0,06 mg/L), USEPA, (apud SZIKSZAY, 1993). Os poços C6, P1, P5, P8, P10, e P20 apresentaram teores inferiores a 0,04 mg/L.

A presença de  $NH_4^+$  em valores próximos de 0,5 mg/L já constitui um forte indício de contaminação por esgotos, lixo, ou outros dejetos ricos em matéria orgânica.

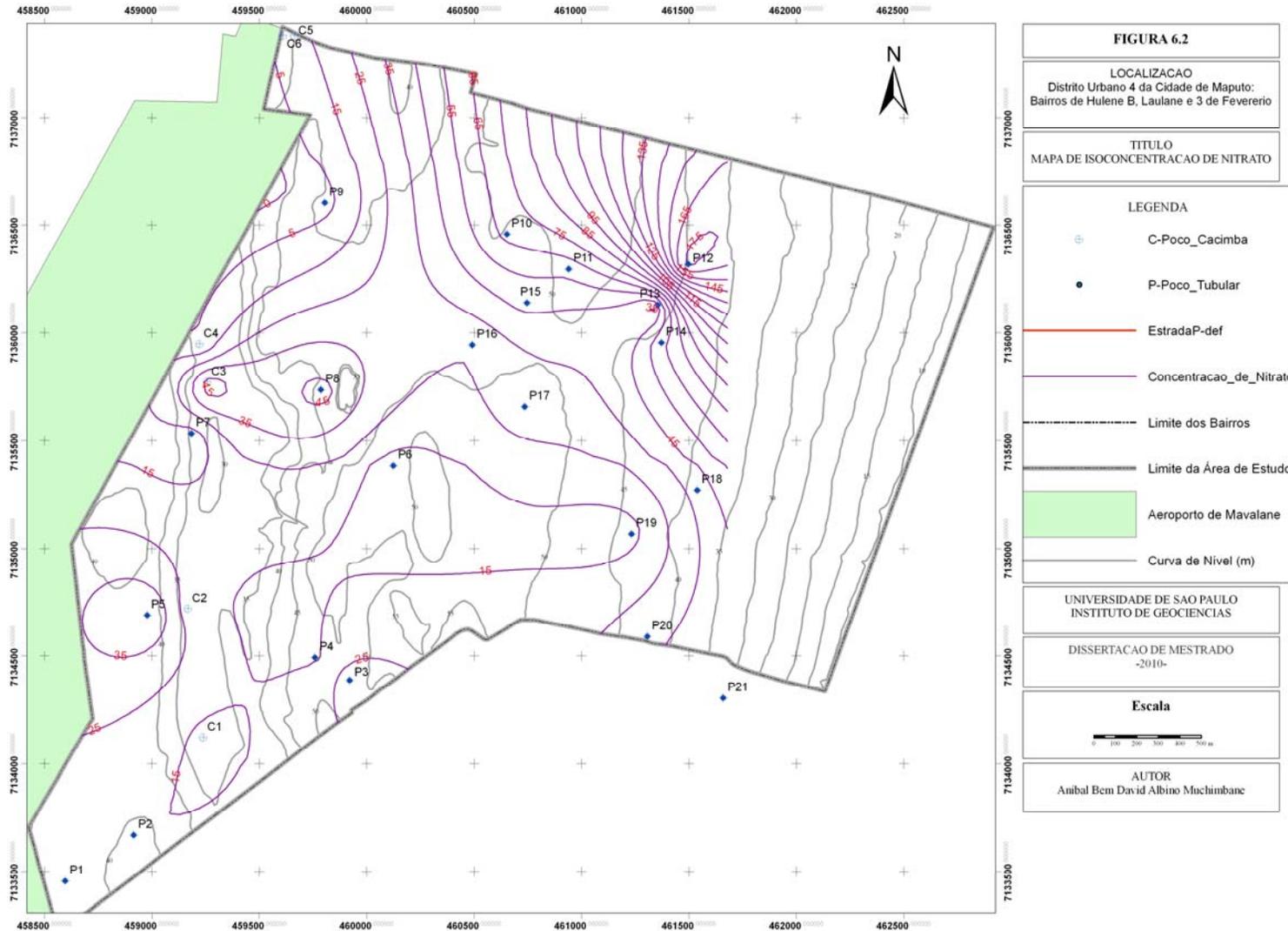


FIGURA 5.2- Mapa de isoconcentração de Nitrato.

### 5.7.2.2 Parâmetros Bacteriológicos

Os microrganismos são utilizados como indicadores de contaminação da água. As bactérias do grupo coliforme são as mais usadas, por estarem presentes em grande número nas fecais. Estes microrganismos indicadores não têm necessariamente uma relação direta com o número de patógenos existentes em uma amostra de água, e se destinam mais a avaliar o grau de contaminação da água. Os resultados nas análises bacteriológicas são apresentados na TABELA 5.4.

**TABELA 5.4- Resultados das análises bacteriológicas das águas subterrâneas.**

Poço	Parâmetro Bacteriológico (Nº de colônias/100 mL)				
	Col. totais	Col. fecais	Estrep. fecais	E.coli	Salmonela
C1	>100	<1	70	<1	nd
C2	<1	22	15	<1	nd
C3	>100	>100	>100	<1	nd
C4	20	10	>101	<1	nd
C5	>100	>100	24	>100	nd
C6	>100	>100	<1	<1	nd
P1	<1	<1	<1	<1	nd
P2	>100	<1	<1	<1	nd
P3	5	5	<1	<1	nd
P4	16	<1	2	<1	nd
P5	<1	<1	<1	<1	nd
P6	<1	<1	<1	<1	nd
P7	>100	>100	4	>100	nd
P8	<1	<1	<1	<1	nd
P9	<1	<1	<1	<1	nd
P10	27	3	<1	3	nd
P11	16	<1	<1	<1	nd
P12	3	<1	<1	<1	nd
P13	<1	<1	<1	<1	nd
P14	<1	<1	<1	<1	nd
P15	<100	10	<1	10	nd
P16	1	1	<1	<1	nd
P17	<1	<1	<1	<1	nd
P18	25	25	<1	25	nd
P19	<1	<1	<1	<1	nd
P20	<1	<1	<1	<1	nd

Dos 26 poços analisados, 74% apresentaram a contaminação com os coliformes totais (65,4% poços rasos e 34,6% poços tubulares). Os coliformes fecais também foram detectados, mas estes em 16 poços, um poço a mais que os coliformes totais.

Os estreptococos fecais e as escherichia coli foram encontrados em número muito menor de poços do que os coliformes fecais e totais. Os estreptococos fecais foram detectados em 7 poços e as escherichia coli em apenas 5 (C5, P7, P10, P15 e P18). A Salmonela não foi encontrada em nenhuma das 26 amostras analisadas.

A presença das bactérias coliformes principalmente os coliformes fecais é o indicativo inequívoco da contaminação fecal recente, devido à utilização de latrinas e fossas sépticas.

Os coliformes totais, coliformes fecais, estreptococos fecais e escherichia coli apresentaram números elevados na maioria das amostras. Os números variaram de 1 a >100 n° colônias/100mL. O que se pode concluir é que cerca de 57,69% dos poços da área estão contaminados por microrganismos.

A situação é mais preocupante com relação aos poços rasos, pois todos eles se apresentam contaminados por microrganismos, por serem mais suscetíveis à contaminação que os poços tubulares, deveriam estar mais protegidos, mas não é isso que se observa. O índice de contaminação dos poços tubulares leva a concluir que aqueles poços também estão mal construídos.

### 5.7.3 Qualidade Química da Água do Aquífero Freático

Baseando-se nas análises químicas das águas subterrâneas, foi avaliada a qualidade das águas.

- **Tipo de Água Subterrânea**

A classificação mais simples do tipo de água subterrânea é a baseada na concentração total de sólidos dissolvidos TDS em mg/L, baseada na classificação adotada por DAVIS & DE WIEST (1967), (TABELA 5.5)

**TABELA 5.5- Classificação do tipo de Água (DAVIS & DE WIEST, 1967).**

Total de sólidos dissolvidos (mg/L)	
Água doce	0 a 1.000
Água salobra	1.000 a 10.000
Água salgada	10.000 a 100.000
Salmoura	>100.000

De acordo com esta classificação, o tipo de água subterrânea que o aquífero freático da área estudada é água doce, excetuando os poços C1 e P2 que apresentam água salobra.

#### ▪ **Classificação Química das Águas Subterrâneas**

Os diagramas são representações gráficas que facilitam a comparação entre os diferentes tipos de concentrações presentes nas amostras analisadas. Assim, com base nesta ferramenta chegou-se a uma classificação para as águas subterrâneas locais, utilizando-se o diagrama de Piper. Esta metodologia utiliza como variáveis três variedades catiônicas ( $Na^+ + K^+$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$ ) e três aniônicas ( $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $Cl^-$ ). Através da plotagem dos pontos em coordenadas trilineares é possível definir os caracteres químicos essenciais das águas.

A TABELA 6.8, mostra os íons maiores em porcentagem de meq/L. De acordo com o diagrama de Piper (FIGURA 5.3), as águas classificam-se em sua maioria, como cloretada-sódicas e secundariamente, cloretada magnesiana e bicarbonatada-sódicas.

### Água subterrânea - DU4 - MAPUTO

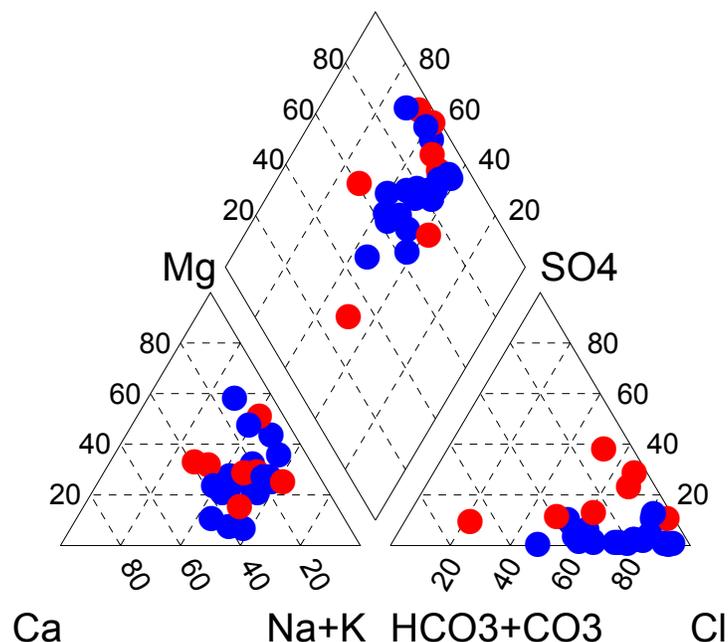


FIGURA 5.3- Diagrama de Piper

**TABELA 5.6- Cátions e ânions maiores em % de meq/L e classificação da água.**

Poços	Cátions (% de meq/L)			Ânions (% de meq/L)			Classificação
	Na+ + K+	Ca2+	Mg2+	Cl-	SO42-	HCO3- + CO3	
P1	61.25	13.75	25.00	61.11	12.61	26.28	Cloretada sódica
P2	55.13	24.27	20.60	79.72	2.17	18.11	Cloretada sódica
P3	55.94	17.18	26.87	92.36	0.21	7.43	Cloretada sódica
P4	28.65	13.26	58.09	90.54	0.82	8.65	Cloretada magnésiana
P5	44.83	44.83	10.34	59.52	3.17	37.30	Cloretada cálcio-sódica
P6	54.69	9.80	35.51	83.13	1.74	15.14	Cloretada sódica
P7	38.82	13.82	47.36	93.67	0.53	5.80	Cloretada magnésiana
P8	53.70	19.29	27.01	84.32	4.14	11.54	Cloretada sódica
P9	39.06	37.67	23.27	62.23	6.11	31.66	Cloretada sódica
P10	42.43	30.28	27.29	53.78	10.07	36.16	Cloretada sódica
P11	53.05	25.28	21.67	66.75	1.21	32.04	Cloretada sódica
P12	43.31	36.09	20.60	81.20	12.54	6.27	Cloretada sódica
P13	57.29	36.07	6.63	61.98	1.38	36.64	Cloretada sódica
P14	44.92	29.66	25.42	48.56	0.26	51.18	Bicarbonatada sódica
P15	47.57	20.10	32.33	66.21	1.58	32.21	Cloretada sódica
P16	45.12	33.95	20.93	74.16	0.92	24.92	Cloretada sódica
P17	57.48	17.52	25.00	82.03	10.24	7.73	Cloretada sódica
P18	49.34	22.91	27.75	75.32	1.17	23.52	Cloretada sódica
P19	52.20	40.49	7.32	80.01	2.14	17.85	Cloretada sódica
P20	48.08	8.39	43.53	78.39	0.71	20.90	Cloretada sódica
C1	40.45	8.54	51.01	86.93	10.28	2.79	Cloretada magnésiana
C2	50.53	20.38	29.09	21.76	9.07	69.17	Bicarbonatada sódica
C3	46.55	24.94	28.51	67.57	23.12	9.31	Cloretada sódica
C4	33.33	35.24	31.43	66.96	28.52	4.52	Cloretada cálcica
C5	28.09	39.33	32.58	49.61	11.09	39.30	Cloretada cálcica
C6	51.59	33.12	15.29	51.96	37.88	10.16	Cloretada sódica

## 6. SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

A contaminação das águas subterrâneas rasas e profundas dos poços por nitrato, amônio e bactérias na área estudada está associada fundamentalmente a disposição inadequada de esgotos domésticos. São necessárias medidas de saneamento para prevenção e controle das fontes atuais e futuras de contaminação, visando impedir maior degradação dos recursos hídricos subterrâneos.

Implantar um sistema público convencional de coleta, afastamento e tratamento dos esgotos é bastante oneroso. Países em desenvolvimento, com poucos recursos adotam tecnologias alternativas e simplificadas, que reduzem consideravelmente os custos.

Tecnologia simplificada é aquela que apresenta o menor custo, mas, nem mesmo por isso, deixando de apresentar a maior eficiência possível.

### 6.1 Soluções Individuais

Há duas possibilidades para minimizar os problemas de contaminação das águas. Não havendo água encanada, pode-se utilizar privada com fossa seca, fossa estanque ou fossa de fermentação. Quando existe água encanada, mas não há rede de esgoto, a solução mais recomendada é a utilização de privada com vaso sanitário, precedido opcionalmente de uma fossa séptica mais filtro anaeróbio (CETESB, 1988; FUNASA, 2004).

#### **Privada com fossa seca**

A privada com fossa seca compreende a casinha e a fossa seca escavada no solo, destinada a receber somente os excretos, ou seja, não dispõe de veiculação hídrica. As fezes retidas no interior se decompõem ao longo do tempo pelo processo de digestão anaeróbia. Deve estar localizada a uma distância mínima de 15 m do poço de água.

### **Vantagens**

- Aplicável a tipos variados de terrenos; risco mínimo à saúde; baixo custo; recomendada para áreas de baixa e média densidade; permite o uso de diversos materiais de construção; simples operação e manutenção; não consome água;

### **Desvantagens**

- Imprópria para áreas de alta densidade; podem poluir o subsolo; requer solução para outras águas servidas.

### **Privada com fossa estanque**

Consta de um tanque destinado a receber os dejetos, diretamente, sem descarga de água, em condições idênticas a privada de fossa seca.

O tanque deve ser construído de concreto ou alvenaria, e totalmente impermeabilizado.

### **Vantagens**

- Baixo custo; fácil construção; simples operação e manutenção; não consome água; mínimo risco à saúde;

### **Desvantagens**

- Imprópria para áreas de alta densidade; requer soluções para as outras águas servidas.

### **Privada com fossa de fermentação (tipo Cynamon)**

O Cynamon consta essencialmente de duas câmaras (tanques) contíguas e independentes destinadas a receber os dejetos, tal qual nas privadas de fossa seca.

### **Funcionamento**

Para facilitar a compreensão do seu funcionamento, chamam-se de I e II as duas câmaras:

- isolar a câmara II, vedando a respectiva tampa no interior da casinha;
- usar a câmara I, até esgotar a sua capacidade;
- isolar a câmara I, vedando a respectiva tampa. O material acumulado sofrerá fermentação natural;

- usar a câmara II, até esgotar a sua capacidade. Durante o período de uso, o material da câmara I terá sido mineralizado;
- retirar o material da câmara I, removendo as respectivas tampas externas recolocando-as após. Por ocasião da limpeza, é necessário deixar pequena porção de material já fermentado, a fim de auxiliar o reinício da fermentação;
- Isolar a câmara II e usar a câmara I, como anteriormente.

### **Detalhes construtivos**

De acordo com o tipo de solo, as privadas de fermentação poderão ter tanques enterrados, semi-enterrados, ou totalmente construídos na superfície do terreno.

O revestimento das câmaras é em função das características do solo e da área de locação da privada em terrenos onde haja riscos de contaminação de poços, as paredes e o fundo serão necessariamente construídos de concreto ou de tijolos e impermeabilizados com argamassa de cimento.

As câmaras compõem-se de um corpo principal (I e II) e de apêndice (1 e 2), que se comunica com o interior da casinha para receber os dejetos.

A escavação das fossas deve começar pelo corpo principal, seguindo-se a escavação dos apêndices.

A casinha é construída sobre este apêndice de tal forma que o corpo principal das câmaras fique atrás da parede dos fundos.

As câmaras são providas, cada uma, de tampas removíveis, subdivididas para facilitar a remoção. A fim de evitar a entrada de águas de chuva, as tampas deverão ficar bem unidas e rejuntadas com argamassa pobre de cal e cimento.

Para evitar o alagamento nas épocas de chuva, a privada será circundada com aterro bem compactado.

A estrutura da casinha é semelhante à da privada de fossa seca, podendo-se empregar os mais diversos tipos de materiais.

### **Vantagens**

- Pode ser adotada em todas as situações idênticas àquelas em que se aplica a fossa seca;
- Pode ser aplicada em locais de água mais próximo da superfície, porque a profundidade das câmaras é de apenas 1.00 m. Em casos mais difíceis, a privada poderá ser elevada do solo;
- Também pode ser aplicada em terrenos rochosos em que a escavação poderá ser mais rasa, ficando as câmaras semi-enterradas;
- Tem duração maior que a fossa seca. A solução é praticamente definitiva;
- Encarecimento é relativamente pequeno em relação à fossa executada em terrenos de idênticas condições; apenas o custo da casinha será um pouco maior;
- Volume de terra a ser escavado é o mesmo;
- A escavação é mais fácil, já que as câmaras são mais rasas;
- Em igualdade de condições de terreno, a quantidade de material usado no revestimento e o trabalho requerido são o mesmo.

### **Desvantagens**

- Imprópria para áreas de alta densidade populacional; Requer solução para outras águas servidas.

## **6.2 Soluções Coletivas**

Áreas com alta densidade populacional, a solução deverá ser uma rede de coleta, tratamento e disposição de esgotos de menor diâmetro chamado sistema condominial, recebendo os efluentes das fossas sépticas (FUNASA, 2004).

O nome sistema condominial é função de se agregar o quarteirão urbano com participação comunitária. O sistema é constituído por ramal condominial; rede básica e a unidade de tratamento.

Ramal condominial é a rede coletora que reúne os efluentes das casas que compõem um condomínio e pode ser:

- de passeio: quando o ramal condominial passa fora do lote, no passeio em frente a este a aproximadamente 0,7 m de distância do muro;

- de fundo de lote: quando o ramal condominial passa por dentro do lote, ao fundo deste. Esta é a alternativa de menor custo, pois desta maneira é possível esgotar todas as faces de um conjunto com o mesmo ramal.

- de jardim: quando o ramal condominial passa dentro do lote, porém na frente do mesmo.

Rede básica: rede coletora que reúne os efluentes da última caixa de inspeção de cada condomínio, passando pelo passeio ou pela rua.

Unidade de tratamento: corresponde uma estação para tratamento do esgoto, composto por fossa séptica, filtro anaeróbio mais sumidouro.

Em alguns locais é obrigatória a instalação de um dispositivo de retenção de gordura na canalização que conduz os despejos das cozinhas para a fossa séptica.

O efluente líquido que sai da fossa séptica ainda contém matéria orgânica, patogênicos e nutrientes, requerendo uma disposição adequada. Para tratá-lo propõe-se a utilização do filtro anaeróbio de fluxo ascendente, que consiste de um tanque de forma cilíndrica ou retangular, cheio de britas nº 4 ou nº 5 que tem função de reter em sua superfície as bactérias anaeróbias, responsáveis pelo processo biológico, reduzindo a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em 70 a 90%.

A eficiência dos filtros só é constatada três meses após o início da operação que é o tempo necessário para o bom funcionamento do mesmo.

O lodo retido na fossa séptica deverá ser removido periodicamente (a cada cinco ou seis meses), de acordo com o período de armazenamento estabelecido no cálculo destas unidades.

O lodo retirado nas fossas sépticas em áreas de baixa densidade populacional poderá ser lançado no solo, a uma profundidade mínima de 0,6 m, desde que o local não crie um problema sanitário. Quando o número de fossas sépticas é bastante grande ou a unidade utilizada é de grande capacidade, o lodo não poderá ser lançado no solo, mas sim encaminhado para um leito de secagem.

A limpeza do filtro anaeróbio deve ser realizada utilizando uma bomba de recalque, introduzindo-se o mangote de sucção pelo tubo guia, ou lançando água sobre a superfície do leito filtrante, drenando-o novamente. Não se recomenda a lavagem completa do filtro.

Finalmente, o efluente líquido que é drenado do filtro anaeróbico, deverá ser desinfetado antes do lançamento ao corpo de água ou ser disposto em sumidouro, que se infiltram no solo pela área vertical.

A vantagem deste processo de tratamento reside no fato de que o seu controle operacional é simples; dispensa equipamento mecânico ou elétrico, sendo suficiente que o esgoto seja encaminhado para o sistema; a área para instalar o sistema é de 129 m<sup>2</sup> para 50 hab, contribuindo com 150 L/hab.dia; o custo do investimento é pequeno se comparado com outros sistemas de tratamento.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos estudos efetuados e da análise dos resultados obtidos, pode-se tirar as seguintes conclusões e apresentar algumas recomendações:

### Conclusões

O aquífero da área de estudo é vulnerável à contaminação de suas águas, em função de seu caráter freático, tipo de formações (areias finas a grossas e arenitos) somado ao sistema de esgotamento sanitário utilizado e a alta densidade populacional.

As águas subterrâneas são principalmente de natureza cloretada-sódica, influência direta da água do mar (dissolução de sedimentos marinhos) e secundariamente cloretada magnésiana e bicarbonatadas sódicas. Estas águas não são de boa qualidade, por apresentarem propriedades químicas e bacteriológicas não adequadas para o consumo humano.

O pH das águas analisadas varia de 4,9 a 7,9. As amostras dos poços rasos apresentam pH mais ácido, com valor médio de 5,9, enquanto que as águas dos poços tubulares apresentam valor médio de pH tendendo a neutro (6,9).

Os componentes maiores ( $Na^+ + K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $Ca^{2+}$ ) em boa parte dos poços estão dentro dos padrões normais de potabilidade, excetuando alguns que apresentaram valores altos:  $Mg^{2+}=52,2$  mg/L (C1),  $Mg^{2+}=53,2$  mg/L (P4),  $Cl^- =260,5$  mg/L (P2),  $Cl^- =278,28$  mg/L (P17),  $Cl^- = 274,74$ mg/L (P18),  $Cl^- = 384,63$  mg/L (P19),  $Ca^{2+}=57,0$  mg/L (P2),  $Ca^{2+}= 66,5$  mg/L(P19),  $Fe^{total}=142,0$  mg/L (P9).

O Oxigênio Dissolvido, apresenta valores que variam de 0,22 a 1,48 mg/L, com valor médio de 0,8 mg/L. Porém mais de 50% dos poços apresentam valores maiores que 0,5 mg/L, característica de um ambiente oxidante.

Os parâmetros químicos e bacteriológicos que mais contribuem para a alteração dos padrões de qualidade da água são os nitratos e coliformes fecais, totais, estreptococos fecais e a escherichia coli.

Elevadas concentrações de  $NO_3^+$  (>5 mg/L),  $NH_4^+$  (>0,06 mg/L) e a presença de microrganismos (coliformes fecais, totais, estreptococos fecais e a escherichia coli) nas

águas subterrâneas analisadas da maior parte dos poços, demonstram o impacto gerado pelo uso de latrinas e fossas sépticas mal construídas naqueles bairros.

Com base na avaliação espacial das concentrações de nitratos na área de estudo e, tomando como valor máximo permitido 10 mg/L de  $NO_3^- - N$  estabelecidos pela Portaria nº 518/04- MS, assim como 11,0 de  $NO_3^- - N$  definido pela Norma do MISAU (2004), conclui-se que valores obtidos em poços localizados principalmente no extremo nordeste da área de estudo são considerados intoleráveis.

Em alguns poços, cujas concentrações de nitrato apresentaram-se dentro do padrão de potabilidade (10 mg/L de  $NO_3^- - N$ ), foi constatada a presença de coliformes fecais, coliformes totais e a escherichia coli, confirmando a contaminação das águas subterrâneas pelas fossas e latrinas. Isso demonstra a aplicabilidade do valor de alerta (5,0 mg/L de  $NO_3^- - N$ ) utilizado para avaliar poços com indícios de contaminação.

Durante o cadastro de poços constatou-se outros fatores que concorrem no comprometimento da qualidade das águas subterrâneas: Inadequada construção, sem vedação sanitária, altura do tubo insuficiente, ausência de tampa de poços tubulares, abandono de poços desativados, que podem tornar os poços fontes pontuais de contaminação das águas subterrâneas pela conexão direta que proporcionam entre a superfície e as porções mais rasas do aquífero com as partes mais profundas.

Estas irregularidades advêm da grande proliferação de pequenas empresas de perfuração que realizam as obras sem conhecimento científico e qualificação, que é evidenciado pela baixa qualidade técnica dos relatórios disponíveis.

Outro aspecto, é a utilização de um poço por várias pessoas e vários baldes para retirar a água no mesmo poço, é impróprio, porque incorre no risco de contaminar a água pela utilização de baldes contaminados ou sujos.

A falta de planejamento urbano na cidade de Maputo foi observada por poços construídos muito próximo das latrinas e fossas séptico-rudimentares, muitas delas mal construídas e sem a devida manutenção. Este quadro é agravado pela falta de remoção periódica do lodo, tornando o sistema ineficiente com o passar do tempo, contaminando os aquíferos.

## Recomendações

Considerando a atual situação de degradação da qualidade das águas subterrâneas, são apresentadas algumas orientações e recomendações para a proteção dos aquíferos da região:

-Criação de um instrumento de fiscalização das obras de captação, bem como do direito de uso da água, capaz de garantir a sustentabilidade e proteção dos aquíferos e da qualidade das águas subterrâneas.

-Estabelecimento de normas de construção de poços de exploração das águas subterrâneas; bem como de desativação de poços inutilizados;

-Utilização dos sistemas alternativos para tratamento de esgoto bem construídos e manutenção devida (constante), considerando a viabilidade e alternativa econômica face aos altos custos de implantação da rede de coleta de esgoto;

-Estabelecimento de normas que forneçam os detalhes técnicos para o projeto, construção e operação de sistemas de privada com fossa de fermentação; privada em vaso sanitário ligada a uma fossa absorvente, precedida de uma fossa séptica com filtro anaeróbio para o sistema familiar ou condominial.

-Criação de uma rede de monitoramento para monitorar no espaço e no tempo a qualidade das águas subterrâneas e os efeitos das atividades antrópicas na região.

-Produção do mapa de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos para auxiliar os órgãos de planejamento urbano-territorial na forma de ocupação do solo.

-Delimitar zona de captura de poços de abastecimento de água para posterior determinação dos perímetros de proteção de poços (PPP).

-Atualmente, para minimizar os efeitos da ingestão da água de abastecimento no local da pesquisa, recomenda-se orientar as populações à fervura da água durante 15 minutos e/ou desinfecção com compostos de cloro para eliminar as bactérias.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ABNT (1993).** Construção e Instalação de Fossas Sépticas e Disposição dos Efluentes (NBR 7.229). Rio de Janeiro. 37 p.

**ABASTECE. (1999).** Dunas: Adriana Brandão, Trimestral.

**ADAMS, B. & FOSTER, S. S. D. (1992).** Land-surface zoning for groundwater protection, Journal of Institution of water and Environmental Management n.6, 312-320p.

**ANDRADE, J. C. Da Matta e; TAVARES, S.R. DE LUCENA; MAHLER, C. F. (1997).** Fitorremediação: uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental. São Paulo: Oficina de Textos. 176p.

**APPELO, C. A. J & POSTMA, D. (2005).** Geochemistry, groundwater and pollution. 2<sup>nd</sup> ed. Leiden: A.A. Balkema publishers. 469p.

**ARAVENA, R; EVANS, M. L.; CHERRY, J. A. (1993).** Stable isotopes of oxygen and nitrogen in source identification of nitrate from septic tanks. Groundwater, V. 31, 180-186p.

**BATALHA, B. H. L. (1989).** Fossa Séptica. Companhia de Tecnologia de saneamento ambiental. Série Manuais, 2<sup>a</sup> edição, 20p.

**BAIRD, C. (2002).** Química Ambiental. 2 ed. Porto Alegre: Bookman. 622p.

**BRAGA. B. et al. (2003).** Introdução à Engenharia Ambiental. 2 ed. São Paulo: Prentice Hall. 305 p.

**BURGEAP, (1962).** Hidrogeologia do Sul do Save. Lourenço Marques: Boletim n° 30. 33p..

**CAMPOS, J. R. (1999).** Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, P. 409-435.

**CANTER, L. W.; KNOX, R. C.; FAIRCHILD, D. (1987).** Groundwater quality protection. Michigan, Lewis Publishers. 562p.

**CANTER, L. W. (1997).** Nitrates in Groundwater. Boca Raton, Lewis Publishers. 263p.

**CAVALCANTI, M. A. M. P. (1996).** Impacto dos sistemas de saneamento in situ nas águas subterrâneas no Bairro de Piratininga de Niterói (RJ). Dissertação (Mestrado). IGc-Universidade de São Paulo. 94p.

- CEVAAL, J. N.; SURATT, W. B.; BURKE, J. E. (1995).** Nitrate removal and water quality improvements with reverse osmosis for Brighton, Colorado. *Desalination*, v.103, n.1-2, 101-111p.
- CESARINO, A. (2002).** Seleção de materiais para a remediação de aquíferos contaminados por nitratos através de Barreiras reativas. São Paulo, 88p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CETESB. (1997).** Relatório de Qualidade das águas Subterrâneas do Estado de São Paulo- 1997.106p.
- CETESB. (1997).** Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. São Paulo: CETESB. 39p.
- CHUTUMIA, I. I. (1987).** Estudo de águas subterrâneas do Grande Maputo. Tese de Licenciatura. Faculdade de Engenharia- Universidade Eduardo Mondlane. 55p.
- COELHO, V. M. T. (2000).** Perímetro de Proteção para fontes naturais de águas minerais. Dissertação (Mestrado). IGc-Universidade de São Paulo. 79p.
- COELHO, V. M. T. (2007).** Potencial de contaminação de aquífero freático por esgoto doméstico- Quantificação do decaimento bacteriológico. Tese de Doutorado. IGc- Universidade de São Paulo. 101p.
- CUNNINGHAM, S.D. et al. (1996).** Phytoremediation of soils contaminated with organics pollutants. *Advances in agronomy*, Newark, v.56, p55-114.
- CUSTÓDIO, E & LLAMAS, M. R. (1996).** Hidrologia Subterrânea. Barcelona, Espanha: Ediciones Omega, S.A., Tomo II. 2350p.
- DAHAB, M. & BOGARDI, I. (1990).** Risk management for nitrate-contaminated groundwater supplies. Reston, U. S. Geological Survey, 76-103p.
- DAVIS, S. N. & DE WIEST, R.J.M. (1967).** Hidrogeología. Ediciones Ariel. Barcelona-España.
- DIAS, A. E. X.- Biorremediação de áreas afetadas por resíduos sólidos tóxicos. In: SISSINCO, C. E. S. (Ed.), (2000).** Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Fiocruz.
- DNA- DIRECÇÃO NACIONAL DE ÁGUAS. (2008):** Boletim informativo. Maputo: DNA. Trimestral.

- DUARTE, U. (1980).** Geologia Ambiental da área de São Pedro/SP- Vetor água subterrânea. São Paulo. Tese de Doutorado. IGC- Universidade de São Paulo. 73p.
- ELMIDAOU, A.; ELHANNOUNI, F.; SAHLI, M. A. M.; CHAY, L.; ELABBASSI, H.; HAFSI, M.; LARGETEAU, D. (2001).** Pollution of nitrate in Moroccan groundwater: removal by electro dialysis. Desalination, v.136, n. 1-3, 325-332p.
- EPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, (1994).** Indoor air pollution: an introduction for health professionals. Publication n. 1994-523-217/81322. Disponível em: <http://www.epa.gov/iaq/pubs/hpguide.html>.
- EPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, (2000).** Introduction to phytoremediation. Cincinnati, Ohio. EPA/600/r-99/107.
- FARIÑA LARROZA, S. (2001).** Proteção da água subterrânea freática na área urbana rural de Neu-Halbstadt (Chaco-Paraguai). 87p. Dissertação (Mestrado). IGC - Universidade de São Paulo.
- FEDERAL REGISTER, (1985).** "National Primary Drinking Water Standards", vol. 50, N.219, pp25880-47022
- FEITOSA, A.C & MANOEL FILHO, J. (1997).** Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza: CPRM: LABHID/UFPP. 412p.
- FEITOSA, F.A.C. et al., (2008).** Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3 ed. Ver. E ampl.– Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 812p.
- FENZL, N. (1988).** Introdução à Hidrogeoquímica. Belém, Universidade Federal do Pará. 198p.
- FERREIRA, L. M. R. (1992).** Impacto dos sistemas de saneamento "in situ" na qualidade das águas subterrâneas. Estudo de caso: Favela Vila Nilza, Município de Campinas/SP. São Paulo, 128p. (Trabalho de graduação individual) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- FERREIRA, L. M. R. (1999).** Prática de disposição de efluentes domiciliares in situ e os impactos nas águas subterrâneas. Estudo de caso: Município de Campinas, São Paulo. 136p. Dissertação (Mestrado). IGC, Universidade de São Paulo.
- FETTER, C. W. (1999).** Groundwater Pollution. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, Inc. 500p.

- FIRESTONE, M. K. (1982).** Biological denitrification .In: SETEVENSON, F. J.- Nitrogen agriculture soils, Madison, American Society of Agronomy, 289-326p.
- FOSTER, S. S .D & HIRATA, R. (1991).** Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. Lima: WHO-PAHO/CEPIS. 78p
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'Elia, M.; PARIS, M. (2006).** Proteção da qualidade da água subterrânea: Um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo-Brasil: Sevmar-Serviços Técnicos Ambientais Ltda. 104p.
- FOSTER, S. S. D. & DRASAR, B. S. (1988).** Análisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamento básico. Lima, CEPIS, 82p.
- FREEZE, R. A & CHERRY, J. A., (1979).** Groundwater. Prentice Hall, Inc. New. Jersey. 604p.
- FUNASA- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (2004).** Manual de saneamento: Orientações técnicas. Brasília. 407p.
- GARDUÑO, H. & ARREGUIN-CORTES, F., (1994).** Efficient water use. Montivedéo. UNESCO/ROSTLAC. 379p.
- GERBA, C. P.; WALIS C.; MALNICK, J. L. (1975).** Fate of waster bacteria and virus in soil. Journal of Irrigation and Drainage Division. V. 101(IR3), p157-175. In: LEWIS, W.J.;
- HEATHWAITE, A.L. (1993).** Nitrogen cycling in surface waters and lakes. In: BURT, T.P.; HEATHWAITE, A.L.; TRUDGILL, S.T. – Nitrate: Processes, patterns and managements. England, Wiley & Sons, pp. 3-21.
- HELL, F.; LAHNSTEINER, J.; FRISCHHERZ, H.; BAUMGARTNER, G. (1998).** Experience with full-scale electro dialysis for nitrate and hardness removal. Desalination, v.117, n.1-3, 173-180p.
- HELMER, R. (1999).** Water quality and health. The Environmentalist. V 19. Nr1. 11-16P.
- HIRATA, R. C. A. (1994).** Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudo de casos no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. IGc- Universidade de São Paulo. 210p.
- HYPOLITO, R. (2008).** Aulas de Geoquímica da interação solo/rocha/água. Curso de pós-graduação – programa RMH: IGc, Universidade de São Paulo.

- JORDÃO, E. P. & PESSÔA, C. A. (1995).** Tratamento de esgotos domésticos. 3<sup>a</sup> edição. 628p.
- JOURAVLEV, A. (2004).** Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. Naciones Unidas. Série recursos naturales e infraestrutura. 70p. 1680-9017.
- KAPOOR, A. & VIRARAGHAVANT, T. (1995).** Nitrate removal from drinking water-Review. Journal of Environmental Engineering. v.123. 371-380p.
- KEENEY, D., (1986).** Sources of Nitrate to Groundwater. CRC Critical Reviews in Environmental Control, v.16, p.257-304.
- KEENEY, D. R. (1989).** Sources of nitrate to groundwater. Nitrogen management and groundwater protection. Developments in agricultural and managed-forest ecology, v.21, 23-34p.
- KLEE. (1975).** HIDROLOGIE. Stuttgart, dva-eminar. Det. Vert-Mas. GmbH. In: FENZL, N. (1988). Introdução à hidrogeoquímica. Belém, Universidade de Pará. 189p.
- KOLLE, W.; STREBEL, O; BOETTCHER, J. (1985).** Formation of sulfate by microbial denitrification in a reducing aquifer. Water supply, v.3, 35-40p.
- KLEINJANS, J. C. S., ALBERING, H. J., MARX, A., van MAANEN, J. M. S., VAN AGEN, B., TEN HOOR, F., SWAEN, G. M. H., and MERTENS, P. L. J. (1991).** Nitrate Contamination of Drinking Water: Evaluation of Genotoxic Risk in Human Populations, Environmental Health Perspectives, vol. 94, pp. 189-193.
- MATEJU, V.; CIZINSKA, S.; KREJCI, J.; JANOCK, T. (1992).** Biological water denitrification- a review. Enzyme Microb. Technology, v.14, 179-183p.
- MELLO, J. J. (1995).** Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal/RN. São Paulo, 196p (Tese de Doutorado)- IGC, Universidade de São Paulo.
- MERCADO, A.; LIBHABER, M.; SOARES, M. I. (1988).** In situ biological groundwater denitrification: concepts and preliminary field tests. Water Science and Technology, v.20, n.3, 197-209p.
- MERINO, L. M. (2003).** La depuración de aguas urbanas de pequenas poblaciones mediante infiltración directa em el terreno. Instituto Geológico y Minero de Espana, Madrid. Serie: Hidrogeología y Águas Subterrâneas. N. 4, 168p.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (2004).** Portaria N° 518, de 25 de Março de 2004.

- MINISTÉRIO DA SAÚDE. (2004).** Regulamento sobre a qualidade da água para o consumo Humano. MISAU. Maputo. 40p.
- MOÇAMBIENTE. (2002).** Maputo: Micoa. Trimestral.
- MOORE, B.E. et al. (1981).** Viral transport to ground water at a wastewater land application site. J. Water Pollut Control Fed., 53: 1492-502.
- MOMADE, F. J.; FERRARA, M.; OLIVEIRA, J. T. (1996).** Notícia Explicativa da Carta Geológica. 2352 D3 Maputo, Escala 1:50.000.
- PACHECO, A. C. (1984).** Análise das características técnicas e da legislação para uso e proteção das águas subterrâneas em meio urbano– Município de São Paulo. São Paulo, 174p. (Tese de Doutorado)- IGc, Universidade de São Paulo.
- PAGANINI, W. S. (1997).** Disposição de esgotos no solo (Escoamento à superfície). São Paulo, Fundo Editorial da AESABESP. 232p.
- PHILIPPI Jr., A. et al. (Org.). (1992).** Saneamento do Meio. São Paulo. Fundacentro.
- PHILIPPI JR, A. (Ed). (2005).** Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um Desenvolvimento Sustentável. Barueri, SP: Manole. 842p.
- REBOUÇAS, A. C. (1999).** Gestão integrada de recursos hídricos (Notas de aulas). São Paulo. IGc/USP. 24p.
- REBOUÇAS, A. C. (1994).** Metodologia de Evaluacion de Sistema Aqüíferos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDROGEOLOGIA SUBTERRÂNEA, 2, Santiago– Chile, Nov./1994. Curso pré-congresso, v.1, 1-23p.
- REDDY, K. R. & PATRICK, W. H. (1981).** Nitrogen Transformations and Loss in Flooded Soil an sediments, in CRC Critical Reviews in Environmental Control, v.13, n.4, pp273-303.
- SACOSAN, 2003**
- SOLLEY. W . B.; PIERCE, R. P.; PERLMAN, H. A. (1993).** Estimed use of water in the United Stats in 1990. U.S., Geol. Survey, Circular 1081.
- STUMM, W. & MORGAN, J. J. (1996).** Aquatic chemistry. 3ed. New York, Wiley Interscience Publication. 1022p.
- SZIKSZAY, M. (1993).** Boletim IG-USP. Série Didática N° 5. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências.

- TANNENBAUM, S.R.; GREEN, L.C., (1985).** Selected Abstracts on the Role of Dietary Nitrate and Nitrite in Human Carcinogenesis-International Cancer Research Data Bank Program, National Cancer Institute, Washington, D.C.
- TEIXEIRA, W. et al., (2009).** Dificuldade a Terra. 2. Ed. São Paulo. Companhia Editora Nacional. 623p
- TUCCI, E. E. M. (2000).** Hidrologia: Ciência e Aplicação. ABRH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- UNESCO. (1992).** Ground Water. Paris.
- USEPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (1994).** Nitrogen Control (Manual). Lancaster, Technomic Publishing Company, USEPA. P.1-22.
- VARNIER, C. L. (2001).** O efeito do Nitrogênio proveniente de Sistemas de Saneamento in situ na qualidade das águas subterrâneas em aquíferos livres e rasos. São Paulo, 150p. Dissertação (Mestrado)– Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- WE CONSULT, (2005).** Avaliação da capacidade Nacional do sector de perfuração para o abastecimento de água rural em Moçambique. Maputo: DNA. 45p.
- WHITELAW, K. & REES, J. F. (1980).** Nitrate-reducing and ammonium-oxidizing bacteria in the vadose zone of the Chalk aquifer of England. Geomicrobiology Journal, v.2, n.2, 1979-1987p.
- WRI- WORLD RESOURCES INSTITUTE (1998).** A guide to the global environment: environmental change and human health. World Resources. 1998-1999. Nova York
- WHO- WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2007).** Guidelines for Drinking- water Quality. 3<sup>rd</sup> ed, v. 1, Geneva.
- ZOLLER, U. (1994).** Groundwater contamination and control. New York. Marcel Dekker, Inc. 712p.

## **ANEXO 1**

### **LAUDOS LABORATORIAIS DAS ANÁLISES QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS DE AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

P1



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código F11HBAM Subcódigo Nº de Registo 1112/09  
Proveniência da Amostra Hulene-Jose Mutacate Matusse  
Tipo de Amostra: Água do furo  
Data da Colheita da Amostra: 17/Mar/09 Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09  
Motivo da Análise: pedido do cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	22,02
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	101,03
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	< 0,04
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	62
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	61,6
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	75,1
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	28,37
Sódio mg/L Na	43,3
Potássio mg/L K	3
Cálcio mg/L Ca	8,8
Magnésio mg/L Mg	9,7
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO <sub>4</sub>	1,81
Coliformes totais Nº Colónias/100	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	<1
Estafilococos Aureus	Ausente
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	ausente

Importância a pagar: 700,00 Mt

A Directora do Laboratório

*Muelida de Jose*  
Data 03/04/09

P2



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo F0 Nº de Registo 1111/09

Proveniência da Amostra DNG - Augusto Cassamo Chividzi - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água de furo

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	14,98
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	260,5
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	0,12
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	262
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	83,6
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	102
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	9,44
Sódio mg/L Na	144,2
Potássio mg/L K	7,1
Cálcio mg/L Ca	57
Magnésio mg/L Mg	29,3
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L P.O <sub>4</sub>	0,36
Coliformes totais Nº Colónias/100	> 100
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	<1
Estafilococos Aureus	Ausente
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:



P3



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 009LA Subcódigo FO Nº de Registo 1014/09

Proveniência da Amostra DNG - Oriel - Bairro de Lulane

Tipo de Amostra: Água do furo

Data da Colheita da Amostra: 09/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 09/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	30,16
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	154,21
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	0,11
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	220
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	17
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	21,4
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	0,5
Sódio mg/L Na	116,75
Potássio mg/L K	20,5
Cálcio mg/L Ca	34,5
Magnésio mg/L Mg	32,7
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L P.O <sub>4</sub>	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	5
Coliformes fecais Nº Colónias/100	5
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	<1
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Presente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar: 700,00 Ml



P4



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo FO Nº de Registo 1113/09

Proveniência da Amostra DNG - Escola Força do Povo - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do furo

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	13,65
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	196,7
Amoníaco mg/l NH4	0,06
Dureza Total mg/L CaCO3	268
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	26
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	32,2
Sulfatos mg/L SO4	2,28
Sódio mg/L Na	34,4
Potássio mg/L K	25,9
Cálcio mg/L Ca	20
Magnésio mg/L Mg	53,2
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO4	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	16
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	2
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Presente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:

700,00 M

A Directora do Laboratório

Muchimbe de Deus

Data 04/03/09

P5



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo FO Nº de Registo 1108/09

Proveniência da Amostra DNG - Luis Faquene - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do furo

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	45,5
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	79,7
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	< 0,04
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	96
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	70,4
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	85,8
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	5,65
Sódio mg/L Na	31,6
Potássio mg/L K	7,4
Cálcio mg/L Ca	31,3
Magnésio mg/L Mg	4,4
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L P.O <sub>4</sub>	1,16
Coliformes totais Nº Colónias/100	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	< 1
Estafilococos Aureus	Ausente
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:



P6



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo F0 Nº de Registo 1013/09

Proveniência da Amostra Fernando Henriques António -Q 28

Tipo de Amostra: Água de furo

Data da Colheita da Amostra: 09/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 09/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	8,97
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	118,76
Amoníaco mg/l NH4	0,13
Dureza Total mg/L CaCO3	160
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	45,6
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	37,4
Sulfatos mg/L SO4	3,3
Sódio mg/L Na	86
Potássio mg/L K	10,9
Cálcio mg/L Ca	14,4
Magnésio mg/L Mg	31,7
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Coliformes totais Nº Colónias/100	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
Streptococos fecais	<1
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:

700,00 ML

Directora do Laboratório

Musilda de Sousa

Data 21/03/09

P7



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo FO Nº de Registo 1109/09

Proveniência da Amostra DNG - Lázaro Mulungo - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do furo

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	8,65
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	125,8
Amoníaco mg/l NH4	0,26
Dureza Total mg/L CaCO3	150
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	11
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	13,42
Sulfatos mg/L SO4	1,08
Sódio mg/L Na	34,6
Potássio mg/L K	15,8
Cálcio mg/L Ca	13,6
Magnésio mg/L Mg	28,3
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO4	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	> 100
Coliformes fecais Nº Colónias/100	> 100
E. Coli	> 100
Estreptococos fecais	4
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:

700,00 Ml

A Directora do Laboratório

*Qualidade de Água*

Data 01/04/09

P8



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo FO Nº de Registo 1114/09

Proveniência da Amostra DNg - Oriel - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do furo

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	48,86
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	101,03
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	< 0,04
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	72
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	19,8
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	24,1
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	6,49
Sódio mg/L Na	33,4
Potássio mg/L K	8,6
Cálcio mg/L Ca	12
Magnésio mg/L Mg	10,2
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO <sub>4</sub>	0,41
Coliformes totais N° Colónias/100	< 1
Coliformes fecais N° Colónias/100	< 1
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	< 1
Estafilococos Aureus	Ausente
Pseudomonas	Presente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:

700,00 MZ

A Directora do Laboratório

Maria de Jesus

Data 01/04/09

P9



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo F0 Nº de Registo 1104/09

Proveniência da Amostra Miguel Alexandre - Hulene

Tipo de Amostra: Água de furo

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	1,51
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	101,03
Amoníaco mg/l NH4	0,07
Dureza Total mg/L CaCO3	110
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	72
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	88,5
Sulfatos mg/L SO4	13,64
Sódio mg/L Na	30,4
Potássio mg/L K	3,6
Cálcio mg/L Ca	27,2
Magnésio mg/L Mg	10,2
Ferro Total mg/L Fe	142
Coliformes totais Nº Colónias/100	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
Estreptococos fecais	<1
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Presente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:

700,00 MZ\$

A Directora do Laboratório

Muelito de bus

Data 31/03/09



P10



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
**LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS**

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha F08AM3F Código 009LA Subcódigo F0 Nº de Registo 852/09

Proveniência da Amostra: Alexandre Saeze Gulele -3 de Fevereiro

Tipo de Amostra: Água de furo

Data da Colheita da Amostra: 02/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 02/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	67,7
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	83,31
Amoníaco mg/l NH4	< 0,04
Dureza Total mg/L CaCO3	144
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	79,2
Alcalinidade Fenolftaleína mg/L CaCO3	0
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	96,6
Sulfatos mg/L SO4	21
Ortofosfatos mg/L PO4	0,25
Hidroxidos mg/L OH	0
Sódio mg/L Na	46,6
Potássio mg/L K	4
Cálcio mg/L Ca	30,5
Magrésio mg/L Mg	16,6
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Coliformes totais Nº Colónias/100m	27
Coliformes fecais Nº Colónias/100	3
Estriptococos fecais	<1
E coli	3
Salmonela	ausente

Importância a pagar:

700,000



P11



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo PO Nº de Registo 1105/09

Proveniência da Amostra DNG - Titos Machava - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do poço

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	6,67
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	136,5
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	0,12
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	140
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	13,2
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	16,1
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	78,73
Sódio mg/L Na	15,3
Potássio mg/L K	28,6
Cálcio mg/L Ca	29,6
Magnésio mg/L Mg	16,1
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L P.O <sub>4</sub>	0,47
Coliformes totais Nº Colónias/100	20
Coliformes fecais Nº Colónias/100	10
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	>100
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:



P12



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha F02 am3 Código 009LA Subcódigo F0 Nº de Registo 846/09

Proveniência da Amostra André A. Langa 3 de Fevereiro Empazol

Tipo de Amostra: Água de furo

Data da Colheita da Amostra: 02/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 02/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	178,9
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	101,03
Amoníaco mg/l NH4	0,09
Dureza Total mg/L CaCO3	80
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	11
Alcalinidade Fenofaleina mg/L CaCO3	0
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	13,4
Sulfatos mg/L SO4	21
Ortofosfato mg/L PO4	0,25
Hidroxidos mg/L OH	0
Sódio mg/L Na	63,6
Potássio mg/L K	4,4
Cálcio mg/L Ca	4,8
Magnésio mg/L Mg	16,6
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Coliformes totais Nº Colónias/100m	3
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
Estreptococos fecais	< 1
E coli	< 1
Salmonela	ausente

Importância a pagar:

700,00 M



P13



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA

LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha F04AM3F Código 009LA Subcódigo F0 Nº de Registo 849/09

Proveniência da Amostra Georgina Muando Doce -3 de Fevereiro

Tipo de Amostra: Água de furo

Data da Colheita da Amostra: 02/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 02/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	31,55
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	79,76
Amoníaco mg/l NH4	0,09
Dureza Total mg/L CaCO3	80
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	81,4
Alcalinidade Fenoftaleína mg/L CaCO3	0
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	81,4
Sulfatos mg/L SO4	2,3
Ortofosfato mg/L PO4	0,25
Hidroxidos mg/L OH	0
Sódio mg/L Na	47,5
Potássio mg/L K	3,4
Cálcio mg/L Ca	27,2
Magnésio mg/L Mg	3
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Coliformes totais Nº Colónias/100m	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
Estreptococos fecais	<1
E coli	< 1
Salmonela	ausente

Importância a pagar:

700,00 Mt

A Directora do Laboratório

Maria Lúcia de Sousa

Data 06/03/09

P14



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

*Boletim de Análise de Água*

Nº da Ficha F05AM3F Código 09LA Subcódigo F0 Nº de Registo 850/09

Proveniência da Amostra Dinis dos Santos -3 de Fevereiro

Tipo de Amostra: Água de furo

Data da Colheita da Amostra: 02/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 02/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	61,51
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	65,58
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	0,1
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	130
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	96,8
Alcalinidade Fenoftaleína mg/L CaCO <sub>3</sub>	0
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	118
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	0,5
Ortofósforo mg/L PO <sub>4</sub>	0,8
Hidroxidos mg/L OH	0
Sódio mg/L Na	45,6
Potássio mg/L K	5,6
Cálcio mg/L Ca	28
Magnésio mg/L Mg	14,6
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Coliformes totais Nº Colónias/100m	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
Estreptococos fecais	<1
E coli	< 1
Salmonela	ausente

Importância a pagar:

100,00M  
A Directora do Laboratório  
Huelba de Sousa  
Data 02/03/09

P15



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA

LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha F07AM3F Código 009LA Subcódigo F0 Nº de Registo 848/09

Proveniência da Amostra: Maria manuela Manhiça - 3 de Fevereiro

Tipo de Amostra: Água de furo

Data da Colheita da Amostra: 02/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 02/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	47,86
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	118,76
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	0,25
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	156
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	81,4
Alcalinidade Fenofaleina mg/L CaCO <sub>3</sub>	0
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	99,3
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	4
Ortofosfato mg/L PO <sub>4</sub>	0,6
Hidroxidos mg/L OH	0
Sódio mg/L Na	59,8
Potássio mg/L K	9,5
Cálcio mg/L Ca	24
Magnésio mg/L Mg	23,4
Ferro Total mg/L Fe	0,27
Coliformes totais Nº Colónias/100m	> 100
Coliformes fecais Nº Colónias/100	10
Estreptococos fecais	<1
E coli	10
Salmonela	ausente

Importância a pagar:

700,00Mt

Directora do Laboratório

Muchimbane de Sousa

02/26/03/09

P16



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 009LA Subcódigo FO Nº de Registo 1008/09

Proveniência da Amostra DNG - Grremias P. Cuna - Bairro de Lauane

Tipo de Amostra: Água do furo

Data da Colheita da Amostra: 09/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 09/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	25,64
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	171,93
Amoníaco mg/l NH4	0,08
Dureza Total mg/L CaCO3	144
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	81,4
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	99,3
Sulfatos mg/L SO4	2,8
Sódio mg/L Na	54
Potássio mg/L K	33
Cálcio mg/L Ca	48
Magnésio mg/L Mg	18
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO4	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	1
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	<1
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Presente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar: 700,00 Mt

A Directora do Laboratório

Micaela de Sousa

Data: 09/03/09

P17



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha 01LAM09 Código 009LA Subcódigo F0 Nº de Registo 1007/09

Proveniência da Amostra DNG - Padaria Laulane -Bairro de Laulane

Tipo de Amostra: Água de furo

Data da Colheita da Amostra: 09/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 09/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	30,9
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	278,28
Amoníaco mg/l NH4	0,1
Dureza Total mg/L CaCO3	84
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	37,4
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	45
Sulfatos mg/L SO4	47,18
Sódio mg/L Na	69
Potássio mg/L K	5,9
Cálcio mg/L Ca	19,2
Magnésio mg/L Mg	16,6
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO4	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	<1
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar: 700,00 Mt

A Directora do Laboratório

*Márcia de Sousa*  
09/03/09

P18



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

**Boletim de Análise de Água**

Nº da Ficha Código 009LA Subcódigo FO Nº de Registo 1009/09

Proveniência da Amostra DNG - António Francisco Sefane - Bairro de Laulane

Tipo de Amostra: Água do furo

Data da Colheita da Amostra: 09/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 09/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	38,29
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	274,74
Amoniacos mg/l NH4	0,19
Dureza Total mg/L CaCO3	172
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	121
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	147,6
Sulfatos mg/L SO4	5,8
Sódio mg/L Na	74
Potássio mg/L K	5,6
Cálcio mg/L Ca	31,3
Magnésio mg/L Mg	23
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L P.O4	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	25
Coliformes fecais Nº Colónias/100	25
E. Coli	25
Estreptococos fecais	<1
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Presente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:

700,00 (Mil e Setecentos)

A Directora do Laboratório

*Qualidade de Serviços*

Data: 01/04/09



P19



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 009LA Subcódigo FO Nº de Registo 1012/09

Proveniência da Amostra DNG - Francisco Khongole - Bairro de Lulane; Q 23; nº 993

Tipo de Amostra: Água do furo

Data da Colheita da Amostra: 09/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 09/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	11,14
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	384,63
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	1,66
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	196
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	121
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	147,6
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	14
Sódio mg/L Na	92
Potássio mg/L K	10,9
Cálcio mg/L Ca	66,5
Magnésio mg/L Mg	7,3
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO <sub>4</sub>	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
E. Coli	< 1
Streptococos fecais	< 1
Estafilococos Aureus	< 1
Pseudomonas	Presente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:



P20



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 009LA Subcódigo FO Nº de Registo 1011/09

Proveniência da Amostra DNG - Águas de Moçambique - Bairro de Laulane

Tipo de Amostra: Água da furo

Data da Colheita da Amostra: 09/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 09/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	32,12
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	196,75
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	< 0,04
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	148
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	110
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	90,2
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	2,2
Sódio mg/L Na	61
Potássio mg/L K	3,8
Cálcio mg/L Ca	9,6
Magnésio mg/L Mg	30,2
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO <sub>4</sub>	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	<1
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:



C1



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo PO Nº de Registo 1110/09

Proveniência da Amostra DNg - Alexandre Nhabanga - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do poço

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	12,47
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	243
Amoniaco mg/l NH4	0,18
Dureza Total mg/L CaCO3	250
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	11
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	13,42
Sulfatos mg/L SO4	38,89
Sódio mg/L Na	64,4
Potássio mg/L K	23,9
Cálcio mg/L Ca	14,4
Magnésio mg/L Mg	52,2
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L P.O4	0,47
Coliformes totais Nº Colónias/100	> 100
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 1
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	70
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Presente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:

700,00, ML

A Directora do Laboratório

Muelde de Sousa

Data 01/04/09

C2



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo PO Nº de Registo 1107/09

Proveniência da Amostra DNG - Cabral Pflumo - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do poço

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	17,99
Nitritos mg/L NO2	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	83,3
Amoníaco mg/l NH4	0,1
Dureza Total mg/L CaCO3	116
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	37,4
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	456
Sulfatos mg/L SO4	47,18
Sódio mg/L Na	39,6
Potássio mg/L K	25,9
Cálcio mg/L Ca	19,2
Magnésio mg/L Mg	16,6
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO4	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	< 1
Coliformes fecais Nº Colónias/100	22
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	15
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:



C3



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo PO Nº de Registo 1106/09

Proveniência da Amostra DNG - Poço público - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do poço

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO3	52,78
Nitritos mg/L NO2	0,04
Cloretos mg/l de Cl	79,7
Amoníaco mg/l NH4	0,85
Dureza Total mg/L CaCO3	120
Alcalinidade Total mg/L CaCO3	15,4
Carbonatos mg/L CO3	0
Bicarbonatos mg/L HCO3	18,78
Sulfatos mg/L SO4	36,78
Sódio mg/L Na	34
Potássio mg/L K	23,9
Cálcio mg/L Ca	22,4
Magnésio mg/L Mg	15,6
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L P.O4	0,36
Coliformes totais Nº Colónias/100	> 100
Coliformes fecais Nº Colónias/100	> 100
E. Coli	< 1
Streptococos fecais	>100
Estafilococos Aureus	Ausente
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a paçar:



C4



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo PO Nº de Registo 1105/09

Proveniência da Amostra DNG - Titos Machava - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do poço

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	6,67
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	136,5
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	0,12
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	140
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	13,2
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	16,1
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	78,73
Sódio mg/L Na	15,3
Potássio mg/L K	28,6
Cálcio mg/L Ca	29,6
Magnésio mg/L Mg	16,1
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L PO <sub>4</sub>	0,47
Coliformes totais Nº Colónias/100	20
Coliformes fecais Nº Colónias/100	10
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	>100
Estafilococos Aureus	<1
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:



C5



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA

LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo PO Nº de Registo 1102/09

Proveniência da Amostra DNG - Reginaldo J. Massingue - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do poço

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	10,97
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	90,4
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	1,02
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	128
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	101,2
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	123,46
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	27,29
Sódio mg/L Na	15,3
Potássio mg/L K	12,8
Cálcio mg/L Ca	28
Magnésio mg/L Mg	14,1
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L P <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	8,14
Coliformes totais Nº Colónias/100	> 100
Coliformes fecais Nº Colónias/100	< 100
E. Coli	> 100
Streptococos fecais	24
Estafilococos Aureus	Ausente
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:



C6



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
DIRECÇÃO NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA  
LABORATÓRIO NACIONAL DE HIGIENE DE ALIMENTOS E ÁGUAS

### Boletim de Análise de Água

Nº da Ficha Código 001HU Subcódigo PO Nº de Registo 1103/09

Proveniência da Amostra DNG - Manecas F. Malhaieie - Bairro de Hulene

Tipo de Amostra: Água do poço

Data da Colheita da Amostra: 16/Mar/09

Data da Chegada no Lab e análise: 16/Mar/09

Motivo da Análise: Pedido do Cliente

Parâmetro Analisado	Resultado
Nitratos mg/L NO <sub>3</sub>	6,75
Nitritos mg/L NO <sub>2</sub>	< 0,03
Cloretos mg/l de Cl	79,7
Amoníaco mg/l NH <sub>4</sub>	< 0,04
Dureza Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	76
Alcalinidade Total mg/L CaCO <sub>3</sub>	22
Carbonatos mg/L CO <sub>3</sub>	0
Bicarbonatos mg/L HCO <sub>3</sub>	26,8
Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	78,73
Sódio mg/L Na	30,4
Potássio mg/L K	11,9
Cálcio mg/L Ca	20,8
Magnésio mg/L Mg	5,8
Ferro Total mg/L Fe	< 0,2
Fósforo total mg/L P <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	< 0,25
Coliformes totais Nº Colónias/100	> 100
Coliformes fecais Nº Colónias/100	> 100
E. Coli	< 1
Estreptococos fecais	< 1
Estafilococos Aureus	> 100
Pseudomonas	Ausente
Salmonela	Ausente

Importância a pagar:

700,00

