



**Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras**

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha

**Influência das Fossas no Aquífero Freático do Bairro Novo, Cidade de Quelimane**

**Autor:**

Luís da Rosa Matavele



**Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras**

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha

**Influência das Fossas no Aquífero Freático do Bairro Novo, Cidade de Quelimane**

**Autor:**

Luís da Rosa Matavele

**Supervisor:**

---

Banito Bene Magestade

Quelimane, Outubro 2018

## **Dedicatória**

### **Dedico este trabalho:**

- Aos meus pais Luís Fernando Matavele e Rosalina Rafael (em memória) por terem-me trazido ao mundo e pela educação que me tem dado;
- A minha família em especial ao meu tio Joaquim Machava e a minha tia Guida Chavisse pelos conselhos e amparo;
- Aos meus irmãos Rafael, Tomás e Vicente, ao meu primo Edson Manhique e ao meu explicador Milton da Conceição que sempre deram-me apoio e estiveram ao meu lado mesmo nos momentos de angústia;
- A todos que sempre me apoiaram e incentivaram em todos os momentos da vida.

## **Agradecimentos**

Agradeço em primeiro lugar a Deus pela vida e protecção que ele me concede, pela sabedoria e refúgio que me deu durante o curso e pela força e coragem que me proporcionou até alcançar o meu objectivo. A minha família pelo apoio financeiro e pelos conselhos que me fizeram crescer e não desistir do meu sonho.

Ao meu supervisor dr Banito Magestade pela orientação e paciência que teve durante a execução deste trabalho.

Aos meus docentes da ESCMC pelos ensinamentos e dicas científicas que me tornaram o que sou hoje e em especial agradeço a dr Carlota Alves pelo companheirismo e ajuda que me deu em todos 4 anos na aquisição de notas e pelo amparo que me deu, onde por vezes assumia o papel de mãe no meu percurso estudantil.

Aos meus colegas da turma de Geologia Marinha 2015 em especial ao Geraldo Nhatsave, André Mutombene, Alberto Jaque e Adriano Muhate, agradeço também e a Guílcia da turma de Biologia Marinha, a Leovistónia e a Carlota da turma de Química Marinha e ao Humberto da turma de Oceanografia.

A minha prima Júlia Machava, ao meu Primo Edson Manhique, meu irmão Rafael Machava e ao meu explicador Milton da Conceição pelo apoio e força que me deram.

Ao Hermenegildo, Nilton e Sérgio por terem-me ajudado a ajustar o tema e a Recilda que me apoiou bastante, emprestando-me o computador para a realização dos trabalhos.

Aos técnicos da ESCMC que permitiram o tratamento dos sedimentos no laboratório de Química e de Solos.

A FIPAG por ter permitido a realização das análises microbiológicas.

Ao técnico do laboratório de Engenharia Civil da Universidade Politécnica, Engenheiro Reginaldo pela ajuda e disponibilidade que me deu para a realização das análises granulométricas.

### **Declaração de honra**

Eu, **Luís da Rosa Matavele**, declaro por minha honra que este trabalho de licenciatura em Geologia Marinha com o título **Influência das Fossas no Aquífero Freático do Bairro Novo, Cidade de Quelimane** é da minha autoria, fruto e resultado do meu próprio esforço e da orientação do meu supervisor, excepto o que foi referenciado. Está a ser submetida para a obtenção do grau de Licenciatura na UEM- Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras (Quelimane). De referir que este trabalho nunca antes foi apresentado na sua essência ou submetida em qualquer instituição para obtenção de nenhum grau académico e muito menos para avaliação em nenhuma outra Universidade.

**O autor:**

---

**(Luís da Rosa Matavele)**

## Resumo

Na região do Bairro Novo, devido ao baixo custo e a facilidade de perfuração dos poços, não só, como também a indisponibilidade da água potável para toda população, a captação de água do aquífero livre, embora mais vulnerável à contaminação por fossas devido a distância horizontal e vertical que separa os dois ambientes, têm sido opção de muitos moradores daquele bairro. Contudo, a presente pesquisa objectivou-se em analisar a influência das fossas no aquífero freático do Bairro Novo, Cidade de Quelimane. Foi perfurado um poço para recolha e análise de amostras de água e sedimentos, onde verificou-se que a água do Bairro Novo está contaminada e que o aquífero do local é constituído em media por areia muito fina. A análise granulométrica indicou que de um modo geral, os sedimentos encontrados em todos horizontes estratigráficos são constituídos por silte grosso, areia média, fina e muito fina, onde silte grosso está em maior percentagem comparativamente aos outros tipos de sedimentos. Utilizou-se o método do poço para a determinação da condutividade hidráulica do solo numa profundidade de 2.57 m, onde teve-se como resultado final  $7.74 \times 10^{-4}$  m/s sendo classificado como baixa moderada. Todos os 4 poços pesquisados apresentam contaminação por coliformes totais e embora apresentam um número contável ou moderado dos coliformes, estão todos fora dos padrões estabelecidos pela MISAU e a água é inadequada ao consumo. A relação verificada entre a presença de coliformes e a condutividade hidráulica é directa pois ambos parâmetros apresentaram características ou comportamentos moderadas.

**Palavras- chave:** Poço, fossa, sedimentos, águas subterrâneas, condutividade hidráulica, coliformes e Bairro Novo.

## **Abstract**

In the Bairro Novo region, due to the low cost and ease of drilling wells, not only, but also the unavailability of drinking water for the entire population, the abstraction of water from the free aquifer, although more vulnerable to contamination by septic tanks/ cesspool due to horizontal and vertical distance that separates the two environments, have been the option of many residents of that neighborhood. However, the present study aimed to analyze the influence of the septic tanks in the aquifer of the Bairro Novo, Quelimane City. A well was drilled to collect and analyze samples of water and sediments, where it was found that the water of the Bairro Novo is contaminated and that the aquifer of the place is made up by means of very fine sand. The granulometric analysis indicated that, in general, the sediments found in all stratigraphic horizons are composed of thick silt, medium and fine sand, where the silt is larger than the other sediments. The well method was used to determine the hydraulic conductivity of the soil at a depth of 2.57 m, where the final result was  $7.74 \times 10^{-4}$  m / s and classified as moderate low. All 4 wells surveyed have total coliform contamination and although they have a countable or moderate number of coliforms, they are all outside the standards established by MISAU and water is inadequate to consumption. The relationship verified between the presence of coliforms and the hydraulic conductivity is direct since both parameters presented moderate characteristics or behaviors.

**Keywords:** Well, cesspool, sediments, groundwater, hydraulic conductivity, coliforms and Bairro Novo.



### Lista de abreviaturas e significados

| Símbolo/ sigla       | Significado  |
|----------------------|--|
| UEM                  | Universidade Eduardo Mondlane                                  |
| ESCMC                | Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras               |
| ABAS                 | Associação Brasileira para Águas Subterrâneas                  |
| OMS                  | Organização Mundial da Saúde                                   |
| FIPAG                | Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água    |
| GPS                  | Sistema de Posicionamento Global                               |
| CT                   | Coliformes totais  |
| MO                   | Matéria orgânica   |
| K                    | Condutividade hidráulica                                       |
| $L_2$                | Altura da superfície ao nível do lenço freático                |
| H                    | Altura do lenço freático                                       |
| $Y_0, Y_1, Y_2, Y_n$ | Altura inicial e da 1ª, 2ª e n leitura                         |
| $L_3$                | Altura da camada impermeável                                   |
| r                    | Raio do poço   |
| $\Delta Y$           | Distância do nível de água no poço ao nível do lençol freático |
| Y                    | Variação do nível da água no poço nos intervalos de tempo      |
| $\Delta t$           | Intervalo de tempo relativo a cada medição de altura           |
| E1, E2, E3 e E4      | Horizontes estratigráficos 1, 2, 3 e 4                         |
| E. Coli              | <i>Escherichia coli</i>  |
| %                    | Porcentagem  |
| $\Phi$               | <i>Phi</i>   |
| $\sigma$             | Desvio padrão  |
| M $\Phi$             | Diâmetro médio   |
| g                    | Grama  |
| s                    | Segundos   |
| °C                   | Graus <i>Celcius</i>   |
| cm                   | Centímetros  |
| m                    | Metros   |
| h                    | Horas  |

## Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Esquema para a visualização da ocorrência e classificação dos aquíferos (Júnior, 2016). ....   | 5  |
| Figura 2. Mapa de localização da área de estudo. ....  | 10 |
| Figura 3. Abertura do poço na zona do Bairro Novo. ....  | 13 |
| Figura 4. GPS Astro 60. ....   | 13 |
| Figura 5. Perfil vertical do poço perfurado. E1, E2, E3 e E4 são horizontes estratigráficos 1,2,3 e4. ...  | 14 |
| Figura 6. Amostras de água. ....   | 14 |
| Figura 7. Representação esquemática do poço com os respectivos parâmetros para determinação da condutividade hidráulica. (Fonte adaptado). ....  | 15 |
| Figura 8. Ilustração da balança semi- analítica e ao lado direito estufa de marca THERMO 250° C. ...   | 17 |
| Figura 9. Material usado no laboratório: a) ácido clorídrico; b) água destilada; c) luvas; d)1e2) provetas graduadas; e) balão volumétrica; f) pipeta; g) ganchos e h) esferográfica. ....             | 18 |
| Figura 10. Ataque dos carbonatos nos sedimentos a partir do ácido clorídrico. ....   | 18 |
| Figura 11. Agitador mecânico. ....   | 19 |
| Figura 12. Crivos granulometricos. ....  | 19 |
| Figura 13. A figura ilustra: a) colocação das gotas de água na membrana petrifilm; b) estufa e c) lupa. ....   | 20 |
| Figura 14. Distribuição granulométrica do horizonte estratigráfico (E1). ....  | 21 |
| Figura 15. Distribuição granulométrica do horizonte estratigráfico (E2). ....  | 22 |
| Figura 16. Distribuição granulométrica do horizonte estratigráfico (E3). ....  | 22 |
| Figura 17. Distribuição granulométrica do horizonte estratigráfico (E4). ....  | 23 |
| Figura 18. Aumento da profundidade no poço para determinação da condutividade hidráulica. ....   | 32 |
| Figura 19. Medição do nível da água com auxílio de uma estaca graduada. ....   | 32 |
| Figura 20. Ilustração do poço comunitário. ....  | 33 |
| Figura 21. Ilustração do poço a menos de 15m da fossa. ....  | 33 |
| Figura 22. Ilustração do poço a mais de 15 m da fossa. ....  | 33 |
| Figura 23. Ilustração da presença de coliformes totais, indicada pelas gotículas vermelhas e a presença do E. coli indicada pelas gotículas azuis apenas no poço perfurado na membrana petrifilm. .... | 33 |

## Lista de tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1. Classificação granulométrica de Udden-Wentworth, os valores expressos em mm e phi e terminologia de Wentworth traduzida por (Suguio, 1973). ..... | 6  |
| Tabela 2. Valores típicos de permeabilidade em solos naturais (Detmer, 1995). .....   | 8  |
| Tabela 3. Localização geográfica dos pontos de amostragem. ....   | 13 |
| Tabela 4. Comportamento do diâmetro médio e desvio padrão em horizontes estratigráficos. ....   | 23 |
| Tabela 5. Leituras da altura de água em função do tempo. ....   | 24 |
| Tabela 6. Relação da condutividade hidráulica e dos coliformes. ....  | 24 |
| Tabela 7. Quantidade dos carbonatos e da matéria orgânica em cada amostra de sedimentos. ....   | 32 |

## Índice

|  |          |
|--|----------|
| Dedicatória .....                                | i        |
| Agradecimentos .....                             | ii       |
| Declaração de honra.....                         | iii      |
| Resumo .....                                     | iv       |
| Abstract .....                                   | v        |
| Lista de abreviaturas e significados .....       | vi       |
| Lista de figuras .....                           | vii      |
| Lista de tabelas .....                           | viii     |
| <b>CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS .....</b> | <b>1</b> |
| 1. Introdução.....                               | 1        |
| 1.1. Problematização .....                       | 2        |
| 1.2. Justificativa .....                         | 2        |
| 1.3. Objectivos.....                             | 3        |
| <b>CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA.....</b>  | <b>4</b> |
| 2. Revisão de literatura.....                    | 4        |
| 2.1. Descrição das águas dos poços .....         | 4        |
| 2.2. Tipos de aquíferos .....                    | 4        |
| 2.2.1. Aquíferos freáticos ou livres.....        | 4        |
| 2.2.2. Aquífero confinado ou artesiano .....     | 4        |
| 2.2.3. Aquífero semi- confinado .....            | 5        |
| 2.3. Vulnerabilidade de aquíferos .....          | 5        |
| 2.4. Análise granulométrica dos sedimentos ..... | 5        |
| 2,5. Parâmetros estatísticos .....               | 6        |
| 2.5.1. Diâmetro médio.....                       | 6        |
| 2.5.2. Desvio padrão .....                       | 6        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.6. Permeabilidade do solo .....                                   | 7         |
| 2.7. Factores que controlam a condutividade hidráulica do solo..... | 8         |
| 2.8. Aspectos construtivos das fossas e dos poços .....             | 8         |
| 2.9. Indicadores microbiológicos de contaminação.....               | 9         |
| 2.9.1. Coliformes totais .....                                      | 9         |
| 2.9.2. Escherichia coli .....                                       | 9         |
| <b>CAPÍTULO III – METODOLOGIA .....</b>                             | <b>10</b> |
| 3. Metodologia.....   | 10        |
| 3.1. Caracterização da área de estudo .....                         | 10        |
| 3.1.1. Geologia.....  | 10        |
| 3.1.2. Solos .....  | 11        |
| 3.1.3. Hidrogeologia .....  | 11        |
| 3.2. Material.....  | 11        |
| 3.2.1. Campo.....   | 11        |
| 3.2.2. Laboratorial.....  | 11        |
| 3.2.2.1. Reagentes .....  | 12        |
| 3.3. Métodos .....  | 12        |
| 3.3.1. Trabalho de campo .....                                      | 12        |
| 3.3.1.1. Abertura e identificação de poços .....                    | 12        |
| 3.3.1.2. Caracterização do aquífero .....                           | 13        |
| 3.3.1.3. Recolha de amostras .....                                  | 14        |
| 3.3.1.4. Determinação da condutividade hidráulica do solo .....     | 14        |
| 3.3.2. Trabalho laboratorial .....                                  | 16        |
| 3.3.2.1. Análise granulométrica.....                                | 16        |
| 3.3.2.2. Tratamento de amostras.....                                | 16        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.2.3. Eliminação de carbonatos .....   | 17        |
| 3.3.2.4. Eliminação de matéria orgânica .....   | 18        |
| 3.3.2.5. Peneiramento (crivagem) .....  | 19        |
| 3.3.2.6. Observação e contagem do número de coliformes totais e fecais .....                | 19        |
| 3.3.3. Processamento e análise dos dados .....  | 20        |
| 3.3.3.1. Cálculo de parâmetros estatísticos .....   | 20        |
| 3.3.3.2. Relação entre a condutividade hidráulica e coliformes totais e fecais .....        | 20        |
| <b>CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>21</b> |
| 4. Resultados.....  | 21        |
| 4.1. Análise da granulometria dos sedimentos em profundidade .....                          | 21        |
| 4.2. Parâmetros estatísticos (diâmetro médio e desvio padrão).....                          | 23        |
| 4.3. Condutividade hidráulica do solo .....   | 24        |
| 4.4. Relação da condutividade hidráulica com a presença de coliformes totais e fecais ..... | 24        |
| 5. Discussão .....  | 25        |
| 5.1. Análise granulométrica.....  | 25        |
| 5.2. Parâmetros estatísticos .....  | 25        |
| 5.3. Condutividade hidráulica.....  | 26        |
| 5.4. Condutividade hidráulica & presença dos coliformes.....                                | 27        |
| <b>CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>  | <b>28</b> |
| 6. Conclusões.....  | 28        |
| 7. Recomendações .....  | 28        |
| <b>CAPÍTULO VI- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>29</b> |
| 8. Referências Bibliográficas.....  | 29        |
| Anexos.....   | 32        |



## CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

### 1. Introdução

As águas subterrâneas ocorrem abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada. A ocorrência de água subterrânea está condicionada a formação geológica da região como é o caso de terrenos de inclinação acentuada e de baixa porosidade que apresentam fraca infiltração da água no subsolo (Ayers & Westcot, 1999).

As águas subterrâneas podem ser captadas nos aquíferos confinados ou artesianos, que se encontram entre duas camadas relativamente impermeáveis, o que dificulta a sua contaminação, ou serem captadas no aquífero não confinado ou livre, que fica próximo à superfície, e está, portanto, mais susceptível à contaminação (Camargo & Paulosso, 2009). As águas subterrâneas têm sido extensivamente utilizadas pelo homem para o fornecimento de água necessária ao consumo e desempenho de actividades económicas (Lima, 2014).

As águas subterrâneas são geralmente de boa qualidade, porém, existem muitos processos que influenciam na sua qualidade nomeadamente: poços mal construídos e/ou abandonados, deposição de resíduos sólidos no solo, esgotos e fossas, actividades agrícolas, mineração, contaminação natural e a super exploração (Nhantumbo, 2017).

A água contaminada pode veicular um elevado número de enfermidades, tais como problemas de deficiência imunológica, envelhecimento prematuro, dores de cabeça, cólera, diarreia, úlceras estomacais e da boca (MISAU, 2004).

A presença de organismos contaminantes como é o caso dos coliformes na água não representa por si só um perigo à saúde, mas indica a possível presença de outros organismos causadores de problemas à saúde. Por exemplo, as bactérias do grupo coliforme, em especial a *Escherichia coli*, representam contaminação fecal recente e indicam a possível presença de bactérias patogénicas, vírus entéricos ou parasitas intestinais (Capp *et al*, 2012).

Os microrganismos patogénicos podem causar doenças como a febre tifóide e a cólera, e irão contaminar os alimentos que muito facilmente chegarão até ao consumidor final (Sidumo, 2017).

Na região do Bairro Novo, devido ao baixo custo e a facilidade de perfuração dos poços, não só, como também a indisponibilidade da água potável para toda população, a captação de água do aquífero livre, embora mais vulnerável à contaminação por fossas devido a distância horizontal e vertical que separa os dois ambientes, têm sido opção de muitos moradores daquele bairro.

A interação fossa- poço, é responsável pela má qualidade de inúmeros poços de abastecimento público e causa em grande parte, uma alta taxa de mortalidade infantil (Calvacante, 1996). Assim sendo, o presente trabalho objectivou-se avaliar a influência das fossas no aquífero freático do Bairro Novo.

### **1.1. Problematização**

Sendo o Bairro Novo um local que a cada ano regista um aumento da população local (por ser uma área de fácil acesso e com terrenos de pouca extensão), o uso da água e a construção de fossas e poços tem também aumentado, o que pode possibilitar a contaminação das águas do aquífero freático.

Por causa da existência do aquífero freático (que localiza-se a uma profundidade média de 2.53 metros) e distância horizontal que separa as fossas dos poços ser muito curta geralmente inferior a 15 metros, não só, como também a distância vertical que é relativamente a mesma, devido a circulação hídrica, o material fecal pode contaminar as águas subterrâneas.

### **1.2. Justificativa**

A água subterrânea é um recurso indispensável para o Homem e tem servido para fins domésticos, uma vez contaminada tal água pode criar um desequilíbrio no funcionamento do corpo humano quando consumida e que em elevados índices pode criar sérios problemas a saúde.

O trabalho mostrará a influência das fossas nas águas dos poços bem como conhecimentos sobre o tipo de sedimento que existe no bairro em estudo, a capacidade que as águas têm de fluir no solo, os principais agentes microbiológicos que contaminam a água e por outro lado possibilitará a população do Bairro Novo a ter informação sobre como e a que distância deve-se posicionar/construir poços e fossas de modo a minimizar-se a contaminação, esses parâmetros todos ajudarão na educação ambiental humana sobre saneamento e saúde pública, possibilitando a conservação, revestimento dos poços e fossas bem como tratamento das águas sobre efeitos que podem advir de diferentes fontes de contaminação.

### 1.3. Objectivos

#### a) Geral:

- ❖ Avaliar a influência das fossas no aquífero freático do Bairro Novo, cidade de Quelimane.

#### b) Específicos:

- ❖ Analisar a granulometria dos sedimentos;
- ❖ Calcular parâmetros estatísticos (diâmetro médio e desvio padrão);
- ❖ Determinar a condutividade hidráulica do solo;
- ❖ Relacionar a condutividade hidráulica com a presença de coliformes totais e fecais (*Escherichia coli*) nos poços.

## CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA

### 2. Revisão de literatura

#### 2.1. Descrição das águas dos poços

O poço é considerado uma importante fonte de suprimento de água para consumo humano por populações que não têm acesso à rede pública de abastecimento. As águas dos poços apresentam características diferentes que variam de zona para zona, dependendo dos materiais geológicos em volta dos aquíferos.

As águas presentes nos aquíferos nunca são puras, contendo substâncias dissolvidas, muito diluídas em virtude do contacto das águas com os materiais geológicos onde ocorre a desmineralização do mesmo provocando a saturação das águas (Sidumo, 2017).

#### 2.2. Tipos de aquíferos

Os **aquíferos** são formações ou camadas geológicas que contêm a água no seu interior (zona saturada) em quantidade suficiente para permitir o seu aproveitamento económico. Assim, uma unidade geológica será considerada um aquífero quando, possuindo poros cheios de água, permitir que a água se escoe pelos espaços intergranulares até poços ou fontes, com uma vazão de saída capaz de, por exemplo, suprir o abastecimento de água de uma comunidade (Júnior, 2016). Os aquíferos podem ser:

##### 2.2.1. Aquíferos freáticos ou livres

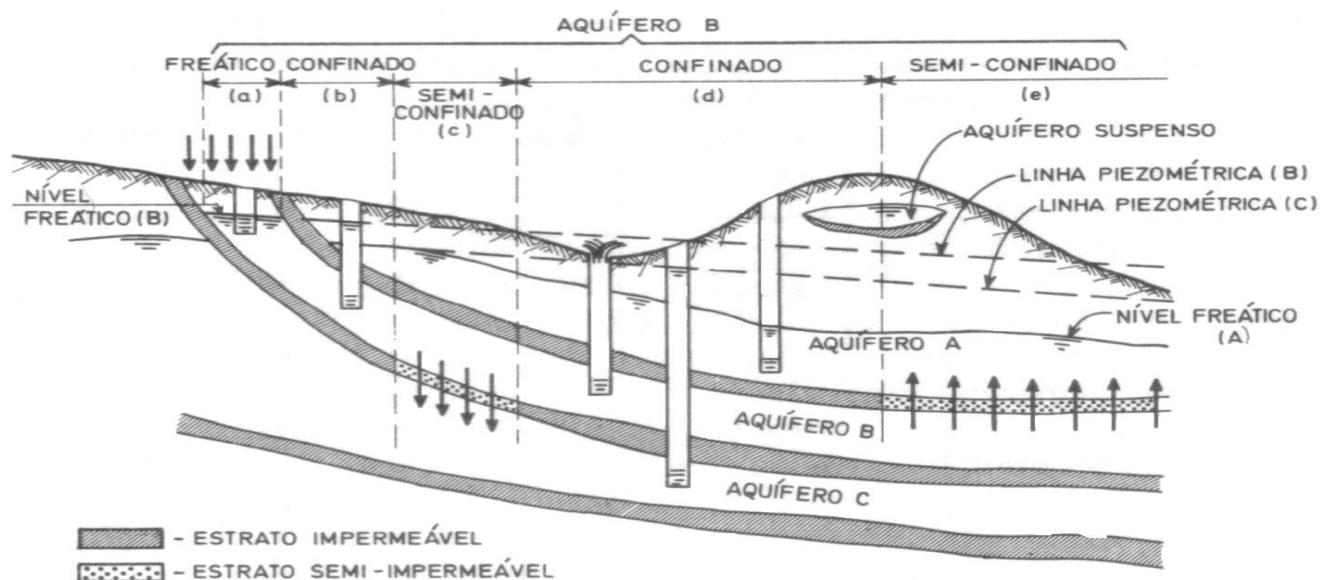
A água que enche os poros da formação geológica na região que se situa no topo da parte saturada está submetida à pressão atmosférica. Assim, tudo se passa como se a água estivesse ocupando um reservatório aberto. Pode ocorrer ainda, a formação de um aquífero ou lençol suspenso, quando uma formação impermeável aparece entre a zona saturada e a superfície do terreno, dando origem à retenção de águas de infiltração acima desta formação.

##### 2.2.2. Aquífero confinado ou artesiano

Quando se situa entre camadas impermeáveis. Em consequência, os aquíferos confinados têm a água submetida a pressão superior à atmosférica. Nestes, a água provém, geralmente, de infiltrações distantes, ocorridas em regiões de cotas mais elevadas (brejos, lagos, rios, chuva ou neve nas serras, etc.).

### 2.2.3. Aquífero semi- confinado

Quando uma das camadas que limita o aquífero é semipermeável, este pode perder ou receber água através dela. Este fenómeno é denominado drenança (Júnior, 2016).



**Figura 1.** Esquema para a visualização da ocorrência e classificação dos aquíferos (Júnior, 2016).

### 2.3. Vulnerabilidade de aquíferos

Vulnerabilidade intrínseca, ou, simplesmente vulnerabilidade de um aquífero é sua propensão natural de ser afectado por uma carga poluidora. Trata-se de uma propriedade inerente ao sistema aquífero em questão, essencialmente dependente de suas características físicas e hidrogeológicas (Lima, 2014).

### 2.4. Análise granulométrica dos sedimentos

Segundo Suguio (1973) granulometria significa a medida do tamanho dos grãos, sendo frequente uma das propriedades físicas fundamentais dos sedimentos. A análise granulométrica consiste na determinação do tamanho de partículas, bem como a frequência em que ocorrem em determinada classe ou tamanho, (Lima e Luz, 2001) A caracterização quantitativa dos parâmetros físicos, principalmente do tamanho das partículas, é essencial na elaboração de um trabalho preciso, na qual várias etapas devem ser seguidas, desde a determinação de escalas até a escolha dos métodos de caracterização (Folk, 1968). Essas dimensões podem ser obtidas através de um método descrito, representada por gráficos e diagramas, e avaliadas através parâmetros estatísticos (Suguio, 1973).

**Tabela 1.** Classificação granulométrica de Udden-Wentworth, os valores expressos em mm e phi e terminologia de Wentworth traduzida por (Suguio, 1973).

| Nome               | Limites de classe (mm) | Limites de classe ( $\Phi$ ) |
|--------------------|------------------------|------------------------------|
| Matacão            | 4096 a 256             | -12 a -8                     |
| Bloco              | 256 a 64               | -8 a -6                      |
| Seixo              | 64 a 4.0               | -6 a -2                      |
| Grânulo            | 4.0 a 2.0              | -2 a -1                      |
| Areia muito grossa | 2.0 a 1.0              | -1 a 0                       |
| Areia grossa       | 1.0 a 0.5              | 0 a 1                        |
| Areia media        | 0.5 a 0.25             | 1 a 2                        |
| Areia fina         | 0.25 a 0.125           | 2 a 3                        |
| Areia muito fina   | 0.125 a 0.0625         | 3 a 4                        |
| Silte grosso       | 0.0625 a 0.031         | 4 a 5                        |
| Silte médio        | 0.031 a 0.0156         | 5 a 6                        |
| Silte fino         | 0.0156 a 0.0078        | 6 a 7                        |
| Silte muito fino   | 0.0078 a 0.0039        | 7 a 8                        |
| Argila             | 0.0039 a 0.00006       | 8 a 14                       |

## 2,5. Parâmetros estatísticos

### 2.5.1. Diâmetro médio

O diâmetro médio é um parâmetro de tendência central que fornece informações, em média, das partículas que constituem uma distribuição granulométrica (Folk & Ward, 1957). O diâmetro médio é o mais importante dentro das medidas de tendência central, reflectindo a média geral de tamanho dos sedimentos, que é afectada pela fonte do material, pelo processo de deposição e pela velocidade das correntes (Suguio, 1973). Quanto maior for o tamanho médio dos grãos do solo, maior é permeabilidade porque os vazios são maiores (Zimmerman & Gudmundur, 1996).

De acordo com Folk & Ward (1957) a expressão Matemática para o cálculo do diâmetro médio é dada por:

$$M\Phi = \frac{\varphi_{84} + \varphi_{50} + \varphi_{16}}{3} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$M\Phi$  - Diâmetro médio;

$\Phi 16$ ,  $\Phi 50$  e  $\Phi 84$  – Percentil 16, 50 e 84

$$\varphi = -\log_2 d(mm) \quad \text{Equação 2}$$

$\varphi$ - é o phi

$d$ - é o diâmetro em milímetro

$$\varphi_n = \frac{n \times p}{100\%} \quad \text{Equação 3}$$

$\varphi_n$  é o percentil que pretende-se calcular

$n$  é o número do percentil que pretende-se calcular;

$p$  é o peso total da amostra em gramas.

### 2.5.2. Desvio padrão

O desvio padrão mede o grau de selecção de um sedimento, e indica a flutuação do nível energético do ambiente deposicional. O mesmo está relacionado com a capacidade de diferentes agentes geológicos em seleccionar, com maior ou menor competência, um determinado grão, reflectindo o índice da variação das condições actuais do fluido transportador (Ponçano, 1986). Quanto maior for o desvio padrão do diâmetro das partículas, menor permeabilidade. O aumento do desvio padrão indica maior variabilidade dos tamanhos dos grãos, com os grãos pequenos ocupando os espaços vazios entre os grãos grandes (Zimmerman & Gudmundur, 1996).

Folk e Ward (1957) afirmam que a selecção de sedimentos é melhor nas faixas de areia, decaindo para selecção pobre nos sedimentos finos. A expressão Matemática para o cálculo do desvio padrão é dada por:

$$\sigma = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6,6} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$\sigma$ - é o desvio padrão

$\Phi 5$ ,  $\Phi 16$ ,  $\Phi 84$  e  $\Phi 95$  – Percentil 16, 50 e 84

|                        |   |
|------------------------|---|
| $\sigma < 0,35$        | Sedimentos muito bem seleccionados        |
| $0,35 < \sigma < 0,50$ | Sedimentos bem seleccionados              |
| $0,50 < \sigma < 1,00$ | Sedimentos moderadamente seleccionados    |
| $1,00 < \sigma < 2,00$ | Sedimentos mal seleccionados              |
| $2,00 < \sigma < 4,00$ | Sedimentos muito mal seleccionados        |
| $\sigma > 4,00$        | Sedimentos extremamente mal seleccionados |

## 2.6. Permeabilidade do solo

Quantitativamente, a permeabilidade do solo é determinada sob dois aspectos: em termos de *velocidade de infiltração*, onde se considera a passagem da água da superfície para o seu interior no sentido vertical, em um meio não saturado, que nada mais é que a zona de aeração do solo; e em termos de *condutividade hidráulica*, onde se considera o movimento da água no interior do solo em todos os sentidos e direcções, ou seja, no espaço tridimensional, em meio saturado, que é a zona de saturação do solo (Silva, 2007).

A quantificação da condutividade hidráulica pode ser feita por uma série de métodos, tanto de campo como de laboratório (Silva, 2007). Dentre esses métodos, os principais são os seguintes:

- Estimativa pela composição granulométrica do solo (determinação indirecta);
- Estimativa pela distribuição do tamanho de poros do solo (determinação indirecta);
- Utilização de permeâmetro de carga constante (determinação laboratorial);
- Utilização de permeâmetro de carga variável (determinação laboratorial);
- Método do poço ou furo do trado- Auger-Hole (método do campo aplicado a solos homogéneos e com a presença do lençol freático);
- Método do piezómetro (método do campo para solos heterogéneos);
- Método dos dois poços (método do campo para solos com dois estratos);
- Método do poço seco (método do campo que consiste em acrescentar água ao poço e observar a variação do nível;
- Método dos cilindros infiltrômetros (por meio de dados da velocidade de infiltração básica do solo).

## 2.7. Factores que controlam a condutividade hidráulica do solo

A condutividade hidráulica é controlada pelas características de permeabilidade do meio. A porosidade do solo depende do arcabouço da rocha e da característica do solo, sendo as características mais importantes aquelas relacionadas ao diâmetro e forma dos minerais, assim como a compactação e a cimentação (Oliveira *et al*, 2010).

**Tabela 2.** Valores típicos de permeabilidade em solos naturais (Detmer, 1995).

| Tipo de solo            | Condutibilidade hidráulica (m/s)         | Classificação                  |
|-------------------------|--|--------------------------------|
| Pedregulho uniforme     | $2 \times 10^{-3}$ a $1 \times 10^{-2}$  | Alta                           |
| Pedregulho bem graduado | $5 \times 10^{-4}$ a $3 \times 10^{-3}$  | Moderada a alta                |
| Areia Uniforme          | $5 \times 10^{-5}$ a $2 \times 10^{-3}$  | Moderada a alta                |
| Areia bem Graduada      | $1 \times 10^{-5}$ a $1 \times 10^{-3}$  | Baixa moderada                 |
| Areia siltosa           | $1 \times 10^{-5}$ a $5 \times 10^{-5}$  | Baixa                          |
| Areia argilosa          | $1 \times 10^{-6}$ a $1 \times 10^{-5}$  | Baixa a muito baixa            |
| Silte                   | $5 \times 10^{-7}$ a $1 \times 10^{-6}$  | Muito baixa                    |
| Argila                  | $1 \times 10^{-10}$ a $1 \times 10^{-7}$ | Muito baixa, quase impermeável |

## 2.8. Aspectos construtivos das fossas e dos poços

**Fossa séptica:** construção sanitária de acordo com as normas da ABNT e com projecto técnico executado por profissional ou empresa habilitadas;

**Fossa comum:** construção sanitária que não apresenta conformidade com as normas da ABNT, construída sem projecto técnico de engenharia. Se estiver posicionada na zona não saturada do solo é denominada fossa seca, se posicionada na zona saturada do solo é denominada fossa negra (Espindola, 2001).

A distância que deve separar as fossas e os poços deve ser de pelo menos 15m, e a base da fossa deve estar a pelo menos 2.5 m acima da água do subsolo e do poço. Assim sendo, não se deve construir fossa em lugares muito húmidos, caso não haja saída, a fossa deve ser mais profunda que o poço, de modo a garantir a privacidade, segurança, limpeza, conforto e saúde da população bem como do meio ambiente (ABAS, 2013).

Os poços devem estar convenientemente fechados, com tampa no mínimo a 40cm (quarenta centímetros) acima da superfície do solo, não só, como também devem ter uma protecção sanitária adequada contra infiltração de poluentes (Ambiente, 1995).

## **2.9. Indicadores microbiológicos de contaminação**

### **2.9.1. Coliformes totais**

São grupos de bactérias gram-negativas, que podem ou não necessitar de oxigénio -aeróbias ou anaeróbias, que não formam esporos, e são associadas à decomposição de matéria orgânica em geral, além de serem encontradas nas fezes de animais de sangue quente. As bactérias do grupo coliformes são utilizadas como indicadores de contaminação bacteriológica da água (Freitas, 2004).

### **2.9.2. Escherichia coli**

É uma bactéria que cresce a temperatura de 44 a 45°C (coliforme termotolerante), em meios complexos, fermenta lactose e manitol com produção de ácido e gás. É abundante em fezes humanas e de animais, onde pode atingir concentrações de 10<sup>9</sup>/grama de fezes frescas. É encontrada em esgotos, efluentes tratados, e todas as águas naturais e solos sujeitos à contaminação fecal recente, tanto dos seres humanos quanto de animais selvagens e aves. É o indicador de primeira escolha quando os recursos para os exames microbiológicos são limitados, e o único que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal (Silva, 2012).

Os coliformes totais bem como fecais devem estar ausentes na água destinada ao consumo (MISAU, 2004).

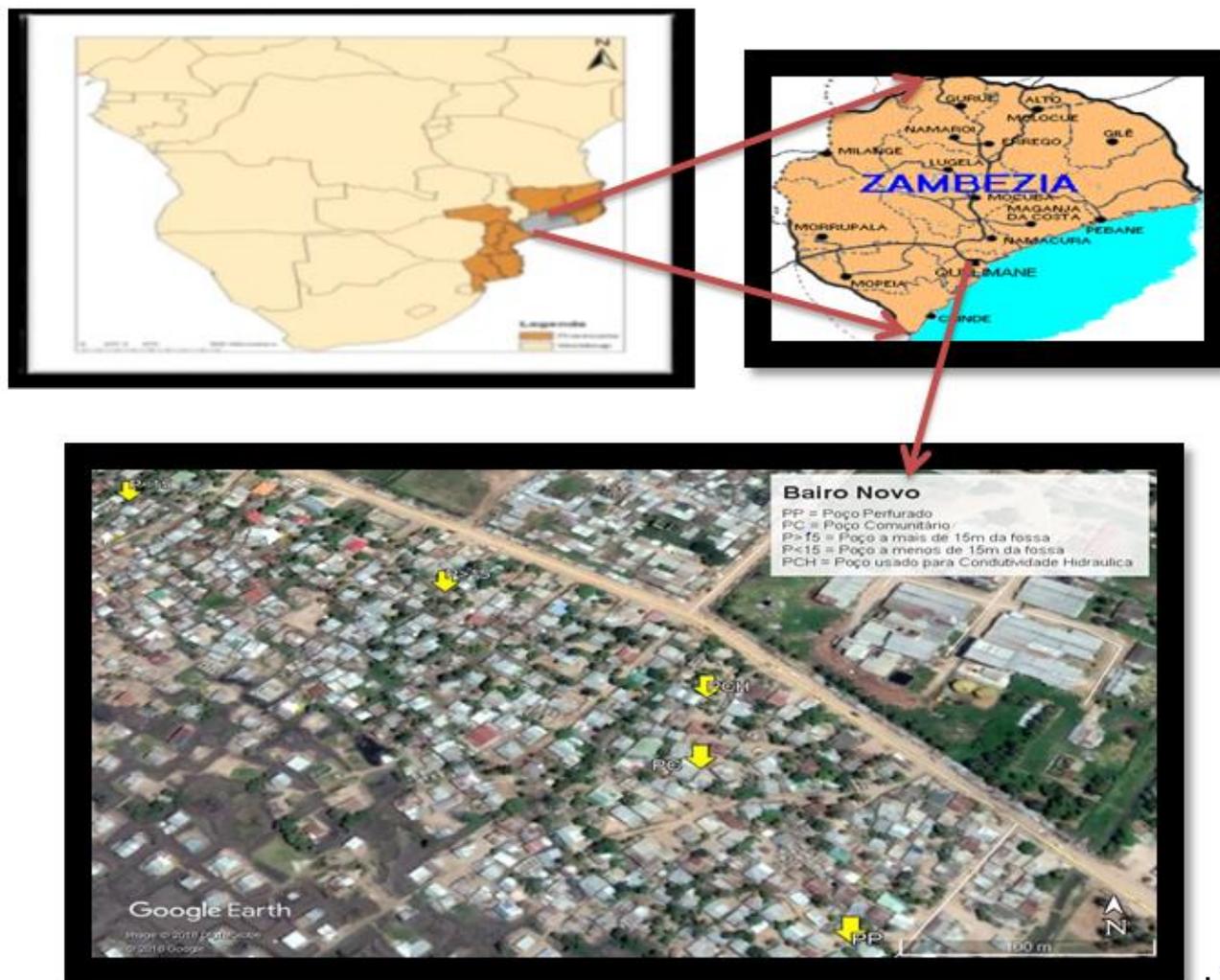
Os coliformes totais e *E. coli*, apesar de serem predominantemente não patogénicos, esses organismos dão uma indicação de contaminação da água por material fecal (humano ou de animais), e, portanto, demonstram a potencialidade que a água tem em transmitir doenças (Silva, 2012).

## CAPÍTULO III – METODOLOGIA

### 3. Metodologia

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado no Bairro Novo localizado nas coordenadas  $17^{\circ} 52' 10.8''$  S e  $36^{\circ} 52' 32.5''$  E, situada na Cidade de Quelimane, Província da Zambézia.



**Figura 2.** Mapa de localização da área de estudo.

#### 3.1.1. Geologia

Na zona de estudo encontrara-se somente formações quaternárias, nomeadamente aluviões ribeirinhos e formações litorâneas (barras costeiras). A origem do material aluvial são as rochas gnaissicas e granitoides do soco antigo (Pré-câmbrico) que se encontram mais no interior do país.

O material consiste principalmente numa camada, de espessura de um até alguns metros, de argila pesada, situada em cima de areia fina que é provavelmente de origem litorânea e que contém frequentemente o mineral ilmenita (FeTiO<sub>3</sub>) (Scholten, 1987).

### **3.1.2. Solos**

Os solos são arenosos de dunas costeiras e de origem hidromórfica (mangais e rios). Os solos arenosos geralmente são profundos a muito profundos, excessivamente bem drenados, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e água (Souto, 2014).

### **3.1.3. Hidrogeologia**

O aquífero freático do Bairro Novo localiza -se na Cidade de Quelimane- Zambézia na província hidrogeológica da bacia sedimentar norte do Rio Save neste aquífero a qualidade de água diminuem em profundidade. A unidade hidrogeológica deste aquífero é denominada Delta e Vale do Zambeze. Caracterizada pela presença de sedimentos finos e depósitos aluviais (Bouman,1987).

A recarga dos aquíferos desse domínio se dá através do fluxo vertical e lateral de águas de infiltração a partir da precipitação pluviométrica e dos estuários. As águas subterrâneas desse domínio apresentam exposição à contaminação.

## **3.2. Material**

### **3.2.1. Campo**

- ❖ Pá e enxada (para abertura de poço);
- ❖ Régua e máquina fotográfica;
- ❖ Balde e corda;
- ❖ Caderno e esferográfica;
- ❖ GPS (para a localização dos poços de amostragem);
- ❖ Garrafas e plásticos de amostra;
- ❖ Cronometro e fita métrica.

### **3.2.2. Laboratorial**

- ❖ Peneiras ou crivos (para análise granulométrica dos sedimento);
- ❖ Lupa (para auxiliar na contagem e observação dos coliformes);
- ❖ Membrana filtrante ou placa petrifilm (para observação e identificação dos coliformes);
- ❖ Estufa (para secagem de amostras);

- ❖ Agitador mecânico de sedimentos;
- ❖ Balança analítica (pesagem de sedimentos);
- ❖ Frascos e copos plásticos (para armazenamento dos sedimentos);
- ❖ Gancho (para a diminuição dos sedimentos no acto da pesagem);
- ❖ Pipeta, luvas e proveta.

### **3.2.2.1. Reagentes**

- ❖ Água destilada (para lavagem de sedimentos);
- ❖ Ácido clorídrico (para atacar os carbonatos).

## **3.3. Métodos**

### **3.3.1. Trabalho de campo**

O trabalho baseou-se primeiramente nas três saídas de campo no mês de Dezembro no dia 21 de 2017 e Fevereiro nos dias 23 e 24 de 2018, onde a primeira saída objectivou-se em fazer uma sondagem directa do local e identificação (aleatória) dos poços, bem como na perfuração do poço que possibilitou a caracterização do aquífero em termos do material que o compõe e também na definição e recolha das amostras (de água e sedimentos) nos poços para posterior análise. As duas últimas saídas de campo consistiram na escolha de uma semana em que não havia precipitação de chuva, para a determinação da condutividade hidráulica do solo, pois a chuva podia influenciar o nível das águas ou viciar os valores bem como o fluxo subterrâneo devido a recarga das águas nos poços.

#### **3.3.1.1. Abertura e identificação de poços**

Primeiro abriu-se um poço pelo qual retirou-se os sedimentos para análise granulométrica, não só, como também informações sobre as profundidades dos poços (descritas na tabela 3), a cor e a estrutura dos sedimentos e outro já existente para possibilitar a determinação da condutibilidade hidráulica, nível de saturação e de seguida recolheu-se as amostras de água em 4 poços, incluindo o poço perfurado, tendo como base a distância fossa- poço.



**Figura 3.** Abertura do poço na zona do Bairro Novo.



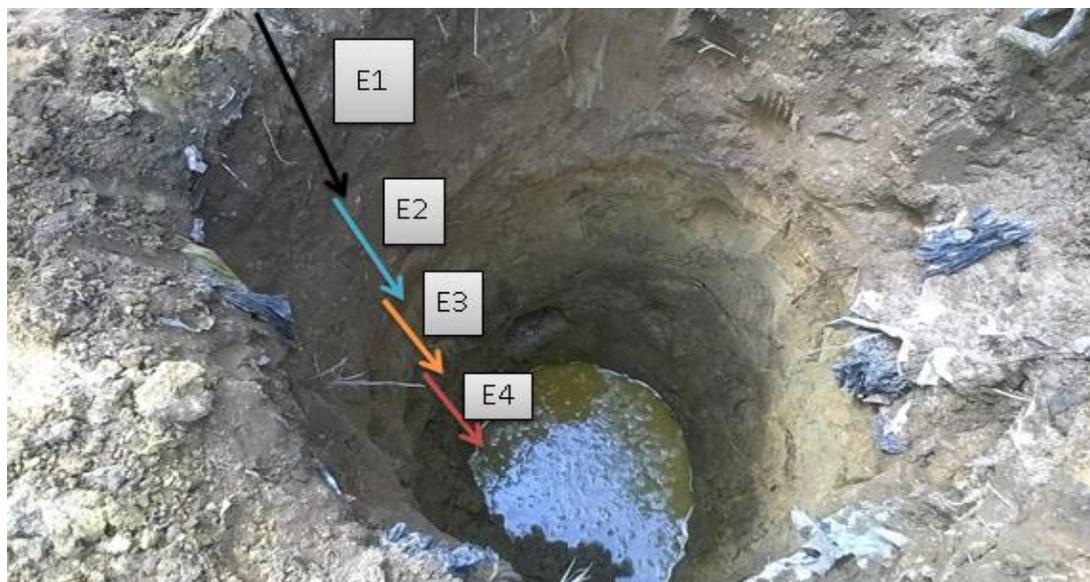
**Figura 4.** GPS Astro 60.

**Tabela 3.** Localização geográfica dos pontos de amostragem.

| Pontos | Descrição                                | Distância poço-fossa | Profundidade | Latitude          | Longitude         |
|--------|--|----------------------|--------------|-------------------|-------------------|
| PP     | Poço perfurado                           | 3.22 e 6.47 m        | 2.70 m       | 17°52'21.6<br>" S | 36°52'32.5<br>" E |
| PC     | Poço Comunitário                         | >15 m                | 3.53 m       | 17°52'18.7<br>" S | 36°52'30.7<br>" E |
| P>15   | Poço a mais de 15m da fossa              | 17.5 m               | 2.36 m       | 17°52'13.6<br>" S | 36°52'26.7<br>" E |
| P<15   | Poço a menos de 15m da fossa             | 7,89 m               | 1.74 m       | 17°52'10.8<br>" S | 36°52'20.9<br>" E |
| PCH    | Poço usado para condutividade hidráulica | _____                | 2.57 m       | 17°52'16.4<br>" S | 36°52'30.9<br>" E |

### 3.3.1.2. Caracterização do aquífero

A caracterização do aquífero baseou-se na observação directa do material que o compõe em cada horizonte estratigráfico, a profundidade, o nível de saturação e a cor dos sedimentos.



**Figura 5.** Perfil vertical do poço perfurado. E1, E2, E3 e E4 são horizontes estratigráficos 1,2,3 e4.

### 3.3.1.3. Recolha de amostras

Retirou-se as amostras de água em 4 poços (excepto no poço usado para determinação da condutividade hidráulica) para observação dos coliformes totais e fecais (E. Coli) e a posterior retirou-se amostras de sedimentos no poço perfurado em 4 horizontes estratigráficos observados no poço tendo em conta as propriedades físicas (cor e saturação) verificadas ao longo do perfil vertical da perfuração, isso para a determinação da granulometria. As amostras (de água e de sedimentos) foram armazenadas em frascos e plásticos devidamente etiquetadas.

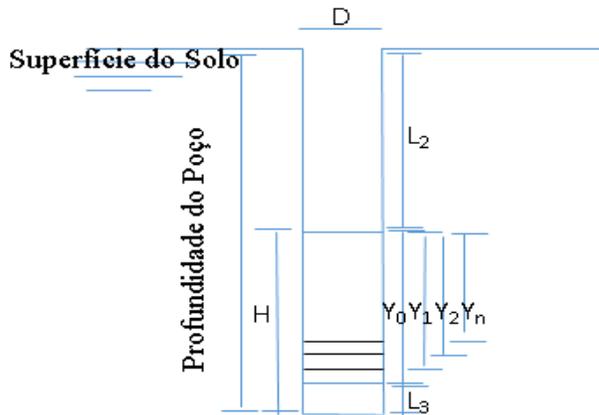


**Figura 6.** Amostras de água.

### 3.3.1.4. Determinação da condutividade hidráulica do solo

A estimativa da condutividade hidráulica do solo fez-se com base no método de poço ou (Auger hole), sugerido por Silva (2007) pois este é utilizado para a estimativa da condutividade hidráulica no campo, na presença do lençol freático e é adequado para solos homogêneos, e a área apresenta essas condições.

O método foi modificado (o diâmetro do poço), onde usou-se um poço já existente, com 100 cm de diâmetro e aumentou-se 50 cm de profundidade para liberar o aquífero na percolação das águas e de seguida retirou-se toda água no poço e deixou-se 24h para a estabilização e no dia seguinte mediu-se o nível estático (altura inicial do lençol freático) das águas com auxílio de uma régua graduada e retirou-se toda água do poço e de seguida começou-se a medir a subida das águas em função do tempo a partir das 7:30 até 8:00 num intervalo de 10 em 10 minutos e por fim converteu-se as leituras feitas durante a determinação da condutividade hidráulica do solo pelas equações 5 e 6.



**Figura 7.** Representação esquemática do poço com os respectivos parâmetros para determinação da condutividade hidráulica. (Fonte adaptado).

Onde:

\$D\$- é o diâmetro do poço;

\$L\_2\$- Altura da superfície ao nível do lençol freático;

\$H\$- Altura do lençol freático;

\$Y\_0, Y\_1, Y\_2, Y\_n\$- Altura inicial e da 1ª, 2ª e \$n\$ leitura;

\$L\_3\$- Altura da camada impermeável.

$$K = \frac{4000}{\left(\frac{H}{r} + 20\right)\left(2 - \frac{\bar{Y}}{H}\right)} \frac{r \sum \Delta y}{\bar{Y} \sum \Delta t} \quad \text{Equação 5}$$

$$\bar{Y} = \frac{Y_0 + Y_n}{2} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

\$K\$ = condutividade hidráulica do solo [m d<sup>-1</sup>];

\$H\$ = distância entre o nível do lençol freático e o fundo do poço [cm];

$r$  = raio do poço [cm];

$\Delta Y$  = distância do nível de água no poço ao nível do lençol freático, relativa a cada intervalo de medição [cm];

$Y$  = variação do nível da água no poço nos intervalos de tempo (leitura anterior menos leitura actual) [cm]; e,

$\Delta t$  = intervalo de tempo relativo a cada medição de altura [s].

O limite de confiabilidade do método corresponde à seguinte relação:

$$Y_n = \frac{3}{4} Y_0 \quad \text{Equação 7}$$

$Y_n$  = última leitura referente à distância entre a superfície freática e o nível de água dentro do poço;

$Y_0$  = primeira leitura efectuada.

Para que a equação tenha uma boa aproximação, Silva 2007 afirma que é necessário que as seguintes condições sejam atendidas:

$$3 < r < 7 \text{ cm}$$

$$20 < H < 200 \text{ cm}$$

$$Y > 0,2 H$$

### **3.3.2. Trabalho laboratorial**

#### **3.3.2.1. Análise granulométrica**

A análise granulométrica dos sedimentos consistiu primeiro no tratamento das amostras na UEM-ESCMC- Laboratório de solos e crivagem ou peneiramento na Universidade Politécnica- Laboratório de Engenharia, na cidade de Quelimane.

#### **3.3.2.2. Tratamento de amostras**

Uma vez que os sedimentos estavam húmidos, foram colocados a secar numa estufa de marca *Thermo* com capacidade de secar até uma temperatura de 250°C disponível no Laboratório de solos da ESCMC. Secou-se 4 amostras com um peso de 200g em cada ponto a uma temperatura de 60°C durante 24 horas, após a secagem, retirou-se em cada amostra uma fracção de 20g de sedimentos conforme recomendam os métodos de crivagem geológica, medidas numa balança semi- analítica com precisão de  $10^{-3}$ g.



**Figura 8.** Ilustração da balança semi- analítica e ao lado direito estufa de marca THERMO 250° C.

### 3.3.2.3. Eliminação de carbonatos

Fez-se a neutralização dos carbonatos em cada amostra a um período de 24 h com a mistura de 30% de ácido clorídrico medido a partir de uma proveta e 0,880 L de água destilada, formando uma concentração total de 1 L. Depois da neutralização das amostras, lavou-se 4 vezes com água destilada e retirou-se o líquido e os sedimentos foram submetidos ao processo de secagem a 60°C durante 24h e pesadas. Os carbonatos foram determinados a partir da seguinte equação:

$$\text{CO}_3^{-2} = \frac{P_2 - P_1}{20g} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

%CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>- é a concentração dos carbonatos eliminados;

P1- é a massa inicial e;

P2- é o peso final depois da perda dos carbonatos.



**Figura 9.** Material usado no laboratório: a) ácido clorídrico; b) água destilada; c) luvas; d1e2) provetas graduadas; e) balão volumétrica; f) pipeta; g) ganchos e h) esferográfica.



**Figura 10.** Ataque dos carbonatos nos sedimentos a partir do ácido clorídrico.

#### 3.3.2.4. Eliminação de matéria orgânica

Usou-se o método LOI (*Loss On Ignition*), sugerido por (Vaasma, 2008), onde afirma que este método remove a matéria orgânica através da combustão, é rápido e eficaz. Martins et al, (2012) afirmaram também que este método é de fácil aplicação para a determinação de matéria orgânica. Eliminou-se a matéria orgânica num período de 8h a uma temperatura de 250°C, com auxílio de uma estufa. Para se conhecer a matéria orgânica perdida nos sedimentos usou-se a seguinte equação:

$$PF = \frac{Mi - Mf}{Mi} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

PF é a perda ao fogo;

Mi é a massa inicial da amostra e;

Mf é a massa da amostra após o aquecimento.

### 3.3.2.5. Peneiramento (crivagem)

Depois do processo de tratamento das amostras, passou-se para o processo de crivagem que fez-se na Universidade Politécnica, no Laboratório de Engenharia Civil, onde em primeiro lugar limpou-se os crivos e de seguida organizou-se de acordo com as aberturas das malhas que variavam de 1.000 a 0.038 mm obedecendo-se a ordem crescente e a posterior colocou-se os sedimentos dos 4 pontos/horizontes estratigráficos e agitou-se com ajuda do agitador mecânico (durante 5 minutos) e de seguida pesou-se todas amostras de cada crivo e armazenou-se dos dados no *Excel 2010* de acordo com abertura de cada peneira e o peso retido.



**Figura 11.** Agitador mecânico.



**Figura 12.** Crivos granulometricos.

### 3.3.2.6. Observação e contagem do número de coliformes totais e fecais

A análise dos coliformes fez-se no Laboratório do FIPAG a partir do método PETRIFILM sugerido por (CONAMA, 1986) onde afirma que é o método mais aplicado nas análises dos coliformes. De seguida colocou-se as gotas de água retiradas em 4 amostras nas membranas petrifilm (sendo uma amostra correspondente a uma membrana) com auxílio de uma pipeta e colocou-se na estufa por um período de 24 h e de seguida com ajuda da lupa fez-se a contagem dos coliformes totais (bactérias com coloração vermelha) e *E. Coli* (bactérias com coloração azul).



**Figura 13.** A figura ilustra: a) colocação das gotas de água na membrana petrifilm; b) estufa e c) lupa.

### 3.3.3. Processamento e análise dos dados

#### 3.3.3.1. Cálculo de parâmetros estatísticos

O cálculo de parâmetros estatísticos sedimentares (diâmetro-médio e desvio-padrão) foi feito segundo as equações 1 e 4 abaixo citadas, propostas por Folk e Ward (1957):

Diâmetro médio:

$$M = \frac{\varphi_{84} + \varphi_{50} + \varphi_{16}}{3}$$

Desvio Padrão:

$$\sigma = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6,6}$$

#### 3.3.3.2. Relação entre a condutividade hidráulica e coliformes totais e fecais

Para relacionar o comportamento hidráulico com a presença de coliformes totais e fecais (*Escherichia coli*) teve-se como auxílio *Excel* que possibilitou a obtenção de tabelas e a posterior correlação da velocidade ou permeabilidade do solo e o número de coliformes.

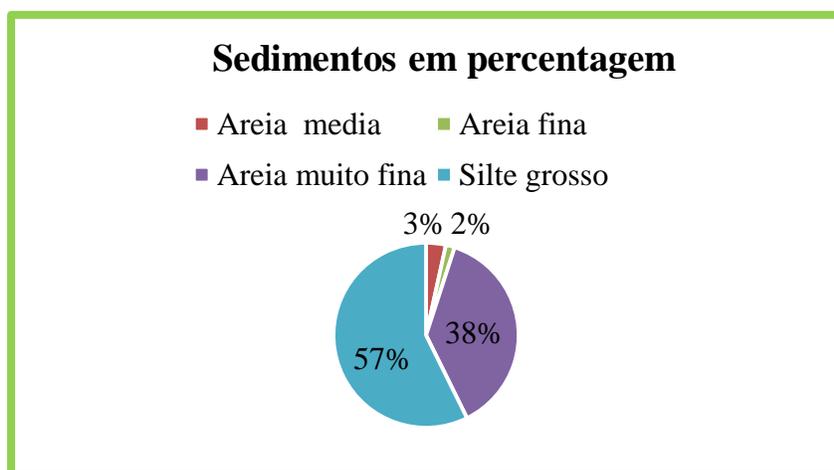
## CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4. Resultados

#### 4.1. Análise da granulometria dos sedimentos em profundidade

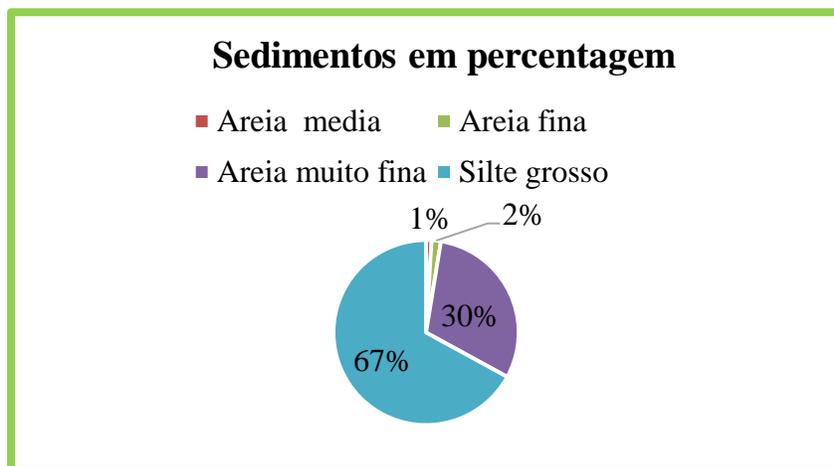
De um modo geral, os sedimentos encontrados em todos horizontes estratigráficos são constituídos maioritariamente por silte grosso, areia média, fina e muito fina, onde silte grosso está em maior percentagem comparativamente aos outros tipos de sedimentos.

A figura abaixo ilustra as percentagens dos sedimentos do horizonte estratigráfico (E1), onde o silte grosso apresenta uma percentagem de 57%, areia muito fina 38%, areia média 3% e areia fina 2%.



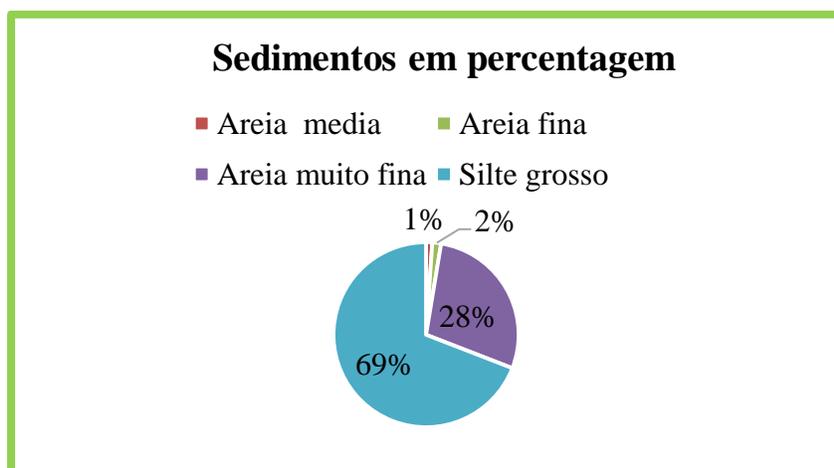
**Figura 14.** Distribuição granulométrica do horizonte estratigráfico (E1).

A percentagem dos sedimentos na camada E2 mostra a seguinte sequência percentual: silte grosso com 67% sendo a mais dominante em relação aos outros sedimentos e de seguida areia muito fina com 30%, areia fina com 2% e areia média com 1%.



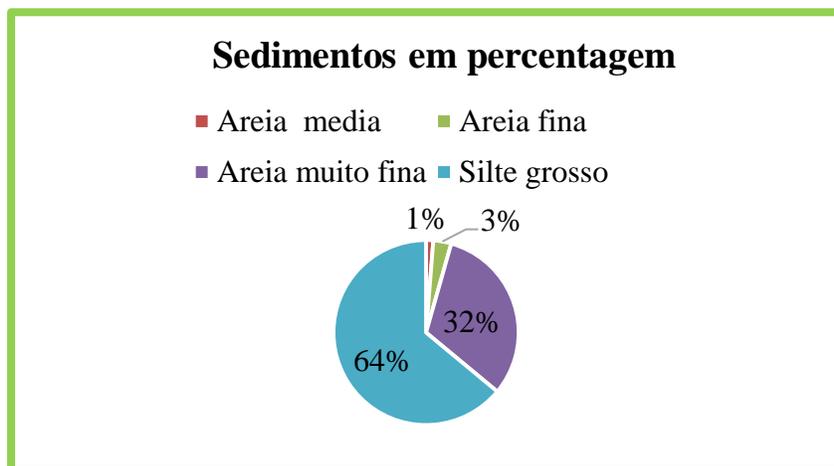
**Figura 15.** Distribuição granulométrica do horizonte estratigráfico (E2).

A figura abaixo ilustra a distribuição percentual de sedimentos no horizonte estratigráfico (E3). Verificou-se nessa camada uma percentagem máxima do silte grosso de 69% e uma mínima percentagem de areia muito fina com 28% e de seguida areia fina com 2% e areia média com 1%.



**Figura 16.** Distribuição granulométrica do horizonte estratigráfico (E3).

Nesta figura, os sedimentos mais abundantes são silte grosso com 64% de seguida areia muito fina com 32 %, 1% de areia média e areia fina teve uma percentagem de 3%.



**Figura 17.** Distribuição granulométrica do horizonte estratigráfico (E4).

#### 4.2. Parâmetros estatísticos (diâmetro médio e desvio padrão)

Depois dos cálculos feitos manualmente e no *Excel*, verificou-se que o diâmetro médio em todos os horizontes estratigráficos foi de  $3,659 \Phi$  que é classificado como areia muito fina ou seja, em média os sedimentos do Bairro Novo são classificados como areia muito fina. Quanto ao desvio padrão, o horizonte estratigráfico E1 apresentou um valor de  $0,49964 \Phi$  e os restantes apresentaram um desvio padrão de  $0,39689 \Phi$ . Essa diferença de valores é insignificante, contudo não influenciou na classificação do grau de selecção dos sedimentos, onde em todos os horizontes estratigráficos, os sedimentos foram classificados como sedimentos bem seleccionados.

**Tabela 4.** Comportamento do diâmetro médio e desvio padrão em horizontes estratigráficos.

| Horizontes estratigráficos | Profundidade (m) | Diâmetro médio ( $M\Phi$ ) | Desvio padrão ( $\sigma$ ) | Classificação dos sedimentos       |
|----------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| E1                         | 0,45             | 3,659                      | 0,49964                    | Areia muito fina, bem seleccionado |
| E2                         | 1,07             | 3,659                      | 0,39689                    | Areia muito fina, bem seleccionado |
| E3                         | 1,48             | 3,659                      | 0,39689                    | Areia muito fina, bem seleccionado |
| E4                         | 2,39             | 3,659                      | 0,39689                    | Areia muito fina, bem seleccionado |

### 4.3. Condutividade hidráulica do solo

A tabela abaixo apresenta leitura das alturas da água em função do tempo, onde as medições tiveram início as 7:30 e o fim as 8:00, a uma profundidade de 2.17 a 2.50 m, onde a soma de  $\Delta Y$  era 34,6 cm e de  $\Delta t$  era de 30 s e altura do lenço freático (H) era de 152,7 cm, raio= 50 cm e a profundidade do poço era de 257 cm. A última leitura feita foi de 39.90 cm obedecendo o que foi proposto na equação 7, a distância do nível de água no poço ao nível do lençol freático  $\Delta Y$  foi de 9.4 cm e a variação do nível da água no poço nos intervalos de tempo Y foi de 112.2 cm. Finalmente, a partir da equação 5, determinou-se a condutividade hidráulica e teve-se como resultado final  $7.74 \times 10^{-4}$  m/s sendo classificado como baixa moderada em termos de valores.

**Tabela 5.** Leituras da altura de água em função do tempo.

| Nº de medições | t (s) | $\Delta t$ (s) | Leitura (cm) | Y (cm) | $\Delta Y$ (cm) |
|----------------|-------|----------------|--------------|--------|-----------------|
| 1              | 0     | -              | 5,30         | 147,4  | -               |
| 2              | 10    | 10             | 18,90        | 133,8  | 13,6            |
| 3              | 20    | 10             | 30,50        | 122,2  | 11,6            |
| 4              | 30    | 10             | 39,90        | 112,2  | 9,4             |

### 4.4. Relação da condutividade hidráulica com a presença de coliformes totais e fecais (*Escherichia coli*) nos poços

A tabela a seguir relaciona a capacidade ou o nível que a água tem de transportar os coliformes ou bactérias das fossas para os poços, ilustra também a implicação que distancia fossa- poço tem na presença dos coliformes.

**Tabela 6.** Relação da condutividade hidráulica e dos coliformes.

| Parâmetros avaliados     | Poços de colecta          |      |    |      | Media | Limite máximo admissível & Classificação |
|--------------------------|---------------------------|------|----|------|-------|--|
|                          | PC                        | P<15 | PP | P>15 |       |  |
| Coliformes Totais        | 163                       | 79   | 3  | 11   | 69    | Ausente                                  |
| <i>Escherichia coli</i>  | -                         | -    | 2  | -    | 2     | Ausente                                  |
| Condutividade hidráulica | $7.74 \times 10^{-4}$ m/s |      |    |      |       | Baixa moderada                           |

## 5. Discussão

### 5.1. Análise granulométrica

As figuras 14, 15, 16 e 17 apresentam em todos horizontes estratigráficos areia média, fina, muito fina e silte grosso devido a boa selecção que eles apresentam. A análise granulometria em todos horizontes estratigráficos evidenciou que a fracção silte grosso está em maior percentagem, isso deve-se provavelmente a topografia e a formação geológica do local que tenha sido influenciado pelos processos estuarinos que trazem sedimentos muito finos através dos rios. Esses resultados assemelham aos de Oliveira *et al* (2016) num estudo feito em Amazonas onde observaram em maior percentagem a fracção silte e afirmaram que foi devido ao relevo do local em estudo. A fracção silte cria uma camada que dificulta a infiltração de água, mas para a área em estudo devido a mistura de silte grosso e outros tipos de sedimento como areia fina, média e muito fina, há infiltração em pequena porção.

Verifica-se a diminuição da areia muito fina ao longo da profundidade excepto na camada 4 e o aumento do silte grosso ao longo da profundidade excepto na camada 4, observa-se também uma diminuição da areia média ao longo da profundidade. Essa distribuição desigual dos sedimentos ao longo da profundidade deve-se provavelmente a forte presença de matéria orgânica na superfície e também devido ao tipo de deposição sedimentar que poderá estar associado a geologia do local sendo essa uma zona costeira.

As camadas 1, 2 e 3 apresentam a mesma percentagem de areia fina de 2% excepto a camada 4 que tem 3%. A maior percentagem da areia fina observa-se no horizonte 4 e muito fina esta no horizonte estratigráfico 1 (a zona supersaturada que mais representa o aquífero), não só, como também a presença de sedimentos finos na região em estudo, isso coincide com o que foi afirmado por Bouman (1987) no estudo e mapeamento hidrogeológico de Moçambique, onde diz que o aquífero da região de Quelimane é caracterizado pela presença de sedimentos de classe granulométrica fina e depósitos aluviais.

### 5.2. Parâmetros estatísticos

De acordo com Suguio (1973), diâmetro médio é o mais importante dentro das medidas de tendência central, reflectindo a média geral de tamanho dos sedimentos, que é afectada pela fonte do material. A tabela 4 mostra uma uniformidade do diâmetro médio em todos horizontes estratigráficos com um valor de 3,659  $\Phi$ , pois as amostras foram retiradas verticalmente no poço e não ocorre nenhum processo de deposição (ausência das correntes e ventos).

Segundo a classificação granulométrica de Udden- Wentworth (1952), traduzida por Suguio (1973), valores do  $\phi$  que encontram-se entre 3 e 4 são classificados como areia muito fina e pertencem aos seguintes intervalos de crivos 0,125 a 0,0625 mm, contudo os valores do  $\phi$  obtidos neste trabalho encaixam-se também na classificação granulométrica de areia muito fina embora em todas camadas o silte grosso tenha maior percentagem e de seguida areia muito fina isso deve-se ao facto do diâmetro médio fornecer a média geral dos sedimentos num determinado ponto e não a percentagem de cada tipo de sedimentos.

O desvio padrão do horizonte E1 difere dos demais isso deve-se a forte presença de areia muito fina no E1, o que condicionou maior valor do desvio padrão nessa camada. Apesar dessas mas diferenças, o desvio padrão de todos horizontes encontra-se no mesmo intervalo estabelecido por Folk & Ward (1957), classificado como sedimentos bem seleccionados devido a graduação crescente dos sedimentos ou devido a presença de quase todas classes granulométricas a partir da areia media, fina, muito fina e silte grosso, essa sequência dos tamanhos de sedimentos caracteriza a classificação como bem seleccionados.

### **5.3. Condutividade hidráulica**

A tabela 5, apresenta valores de variações de tempo e altura das águas, onde obteve-se valores da condutividade hidráulica ou permeabilidade a partir da equação 5, que possibilitou a obtenção do seguinte valor de  $K=7.74 \times 10^{-4}$  m/s que encaixa-se ou coincidem com o que foi proposto por Detmer (1995), onde classifica valores desse intervalo de condutividade hidráulica  $1 \times 10^{-5}$  a  $1 \times 10^{-3}$  como baixa moderada e cujo tipo de sedimento é bem graduada, o que coincide com a classificação do desvio padrão obtido a partir da equação 4.

Apesar da modificação do raio, não implica que os resultados não são fiáveis pois foram obedecidos outros parâmetros ou condições e Silva (2007) afirma que o ensaio de condutividade hidráulica nos poços pode também pode ser feito num diâmetro de 40-80 cm, e esse estudo foi feito num raio de 50 cm e o valor de K não fugiu do que foi proposto por Detmer (1995).

As medições foram interrompidas depois de 30 min devido a condição que diz que a ultima leitura deve ser superior a  $\frac{3}{4}$  da primeira leitura (referente à distância entre a superfície freática e o nível de água dentro do poço).

#### **5.4. Condutividade hidráulica & presença dos coliformes**

De acordo com Ferraz, *et al* (2015), a condutividade hidráulica é um importante factor para se estimar a velocidade do fluxo da água subterrânea, ajudando a entender o transporte de contaminantes associados.

Segundo MISAU (2004), os valores dos CT e *E. coli* apresentados na tabela 6 estão fora dos limites máximos admissíveis para água destinada ao consumo humano.

A tabela 6 apresenta uma relação directa entre a permeabilidade e a presença dos coliformes no poços, pois em todos os poços encontrou-se um numero contável/ moderado dos coliformes e a condutividade hidráulica foi baixa moderada, onde no poço comunitário houve maior numero de CT devido a maior representatividade do aquífero que ele apresenta pois sofre maior captação e restauração das águas de seguida observa-se que o poço que esta a menos de 15 m também apresenta um numero um pouco elevado em relação ao poço que esta a mais de 15 m e o poço perfurado é o único que apresenta *E. coli* pois esta a menos de 3 e 6 m de uma fossa, não só, como também esta perto de uma cova que deposita-se lixo apresenta também menor numero de CT isso deve-se provavelmente a profundidade que se encontra (2,7 m).

Nota-se que quanto mais o poço se encontra distante das fossas, menor é a concentração dos coliformes nas águas dos poços, isso porque os poços que estão perto das fossas sofrem mais influência directa do material fecal transportado pelo fluxo subterrâneo comparativamente aos que estão distantes (geralmente nas zonas intermediarias e na jusante), o mesmo foi afirmado por Sidumo (2017) que a presença de fossas próximas dos poços contribuem para a contaminação.

## CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6. Conclusões

A partir dos resultados e dos objectivos traçados pode-se concluir que:

- O Bairro Novo em média é dominado por areia muito fina;
- A condutividade hidráulica ou permeabilidade da área em estudo, classifica-se como baixa moderada.
- Todos os poços pesquisados apresentam contaminação por coliformes totais e embora apresentem um número contável ou moderado dos coliformes, estão todos contaminados e a água é inadequada ao consumo. A relação verificada entre a presença de coliformes e a condutividade hidráulica é directa pois ambos parâmetros apresentaram características moderadas.

### 7. Recomendações

Para os próximos trabalhos recomenda-se:

- Determinação da direcção do fluxo subterrâneo;
- Avaliação dos parâmetros químicos nas águas subterrâneas do Bairro Novo.

Para a população do Bairro Novo recomenda-se:

- A construção de poços a uma distância horizontal mínima de 15 m e na vertical uma maior profundidade das fossas em relação aos poços, isso para possibilitar o escoamento do material fecal a profundidades longe dos poços;
- Tratamento das águas antes do consumo e melhoramento do material de protecção das fossas.

## CAPÍTULO VI- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 8. Referências Bibliográficas

Ambiente, N. T. (1995). Das aguas e das fossas. *Portaria n.º 456/95 – SES/GO*. Pp 5-7.

ABAS (2013) - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Disponível em <[www.abas.gov.br](http://www.abas.gov.br)> Acessado em 13 de Novembro de 2017.22:00 min.

Ayers, R.S.; Westcot, D,W (1999). A qualidade da água na Agricultura., *Tradução de H.R.* 1: 12-15

Bouman, D.,Ferro, B. P. A (1987). Explanatory Notes to the Hydrogeological Map of Mozambique Scale 1:1000, 000. National Directorate for Water Affairs., Maputo. Pp 21.

Calvacante, M. A. (1996). Impactos dos sistemas de saneamento público nas águas subterrâneas no bairro depiratininga. Município de niteroi RJ. Sao Paulo. Pp 4.

CONAMA. (1986). Resolução CONAMA de Nr. 20, de 18 de Junho de 1986. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providencias. Brazil: D.O.U., Pp. 1-15.

Camargo, M. F., & Paulosso, L. V. (2009). Avaliação qualitativa da contaminação microbiológica das águas de poços no município de Carlinda – MT. Brazil., Pp 2.

Capp, *et al.* (2012). Qualidade da água e factores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS)., Brazil. Pp 1.

Detmer, D.M., (1995). Permeability, porosity, and Grain-size Distribution of Selected Pliocene and Quaternary Sediments in the Albuquerque Basin, *Central New Mexico*. Master Thesis, EUA, Pp 7

Espindola, R. d. (2001). Impactos dos sistemas “in situ” nas aguas subterraneas, municipio de itaquaquecetuba (SP). Sao Paulo. Pp 2-4.

Ferraz, *et. al.* (2015). Infiltração em sondagens e slug test em poços de monitoramento. *In Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo*. Brazil. Pp 72

Folk, R. L.(1968). Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company. Sl., Pp. 190.

Folk, R.L., & Ward, W.C. (1957). Brazos River Bar: a Study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology.*, 1: 3-26.

Freitas, M. P. (2004). Sobrevivência de *Pseudomonas aeruginosa*, Coliformes totais, *Escherichia coli* e Isolamento e Identificação de Fungos em águas de rio in natura. Tese de Bacharelado, Curitiba, Paraná. Pp.4-31

Júnior, A. R. (2016). Água subterrânea / hidráulica de poços. Pp. 211-213.

Lima, D. R. (2014). Avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas do sistema aquífero serra geral no município de Bento Gonçalves. Porto Alegre. Pp 1-2

Lima, R.M.F.; Luz, J.A.M. da. (2001) Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 54. Sp

Martins *et al* (2012). Determinação de Matéria Orgânica em Sedimentos por Gravimetria. Calda. Pp 1

MISAU. (2004). Regulamento sobre a qualidade de água para o consumo humano. Maputo. Pp 9-30

Nhantumbo N. F, (2017). Influência da Lixeira Municipal do Bairro Padeiro na Cidade de Quelimane na Qualidade de Água Subterrânea., Tese de Licenciatura, UEM-ESCMC, Quelimane. Pp 7.

Oliveira, *et al* (2010). Contraste de condutividade hidráulica em solos de texturas arenosa e argilosa encontrados nos tributários da margem esquerda do rio Tijucu, município de Ituiutaba, estado de Minas Gerais. Brazil. Pp 7-9

Oliveira, *et al.*, (2016). Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. Pp 595

Ponçano, W. L. (1986). Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplos de sedimentos quaternários da costa brasileira. *Ver Bras. Geoc.*, 2:157-170

Scholten, J. H. (1987). Estudo de Solos ao Nível de Reconhecimento da Faixa Costeira de Quelimane. Maputo, Moçambique. Pp 6-8

Sidumo V. I., (2017). Avaliação das Condições de Potabilidade da Água dos Poços do Bairro 25 de Setembro e Samora Machel, na cidade Mocuba, Tese de Licenciatura, UEM-ESCMC, Quelimane. Pp 4

Silva, F. V. (2012). Avaliação da contaminação das águas subterrâneas por atividade cemiterial na cidade de Maceió. Maceió. Pp 1-4

Silva, J. L. (2007). *Drenagem Agrícola*. Rio de Janeiro. 20-22 pp

Souto, M. (2014). Governação e Crescimento Partilhado das Pescas no Sudoeste do Oceano Índico em Moçambique. Maputo: *SWIO Fish Moçambique*. Pp 36-38

Suguio, K.( 1973). Introdução à Sedimentologia. São Paulo, Edgard Blucher., 317 pp

Vassma, T., (2008). Grain-size analysis of lacustrine sediments: a comparison of pre-treatment methods. *Estonian Journal of Ecology*. Vol 57, EUA. 231-236 pp

Zimmerman, R. e Gudmundur, B. (1996). Transport in Porous Medio. EUA. 34-44 pp.

## 9. Anexos

**Tabela 7.** Quantidade dos carbonatos e da matéria orgânica em cada amostra de sedimentos.

| Amostras     | Peso inicial (g) | Fracção de carbonatos (g) | Fracção da MO (g) | Peso final (g) |
|--------------|------------------|---------------------------|-------------------|----------------|
| E1           | 20,0000          | 0,4036                    | 0,1722            | 19,4242        |
| E2           | 20,0000          | 0,0857                    | 0,2245            | 19,6898        |
| E3           | 20,0000          | 0,3367                    | 0,5130            | 19,1503        |
| E4           | 20,0000          | 0,1820                    | 0,3200            | 19,4980        |
| <b>Total</b> | <b>80,0000</b>   | <b>1,008</b>              | <b>1,2297</b>     | <b>77,7623</b> |



**Figura 18.** Aumento da profundidade no poço para determinação da condutividade hidráulica.



**Figura 19.** Medição do nível da água com auxílio de uma estaca graduada.



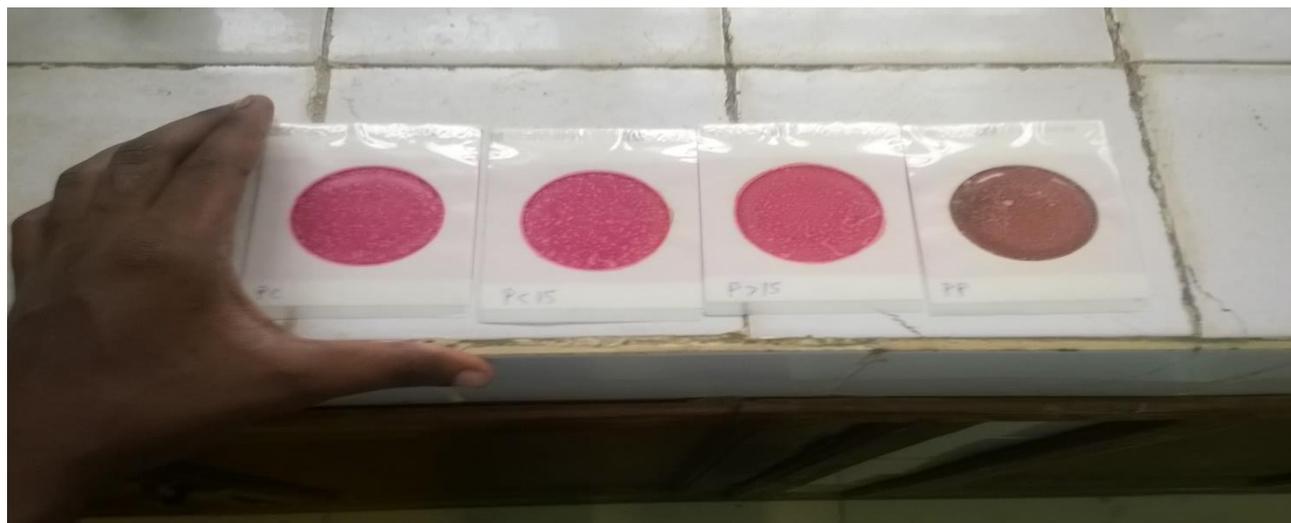
**Figura 20.** Ilustração do poço comunitário.



**Figura 21.** Ilustração do poço a menos de 15m da fossa.



**Figura 22.** Ilustração do poço a mais de 15 m da fossa.



**Figura 23.** Ilustração da presença de coliformes totais, indicada pelas gotículas vermelhas e a presença do E. coli indicada pelas gotículas azuis apenas no poço perfurado na membrana petrifilm.