

Nelson Francisco Neves Muzila

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SECÇÃO DE VAZÃO DA VALA DE DRENAGEM  
PARA MINGUENE

Licenciatura em Engenharia de Construção Civil

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

Nelson Francisco Neves Muzila

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SECÇÃO DE VAZÃO DA VALA DE DRENAGEM  
PARA MINGUENE

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia e  
Tecnologia para a obtenção do grau académico de  
Licenciatura em Engenharia de Construção Civil.

Supervisor:

Eng<sup>o</sup>. Fernando Evaristo Namburete

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

## DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu Nelson Francisco Neves Muzila, declaro por minha honra que este trabalho é de minha inteira autoria e que o mesmo nunca antes foi apresentado por ninguém para obtenção de qualquer grau acadêmico.

---

(Nelson Francisco Muzila)

## AGRADECIMENTOS

A realização da presente monografia apenas foi possível com a cooperação que obtive. Como tal, pretendo desta forma agradecer a quem por direito o merece.

Ao nosso Senhor Jesus Cristo, por me fazer justiça de Deus por meio do seu sangue e me tornar co-herdeiro com Ele, pois por meio dEle sou abençoado com todas as bênçãos espirituais nos lugares celestiais.

Ao Conselho Municipal da Cidade de Maputo em particular ao DMIU-DAAS na repartição de drenagem em especial aos engenheiros, João Siteo e Correia Mahumane pela paciência e acompanhamento durante a realização do estágio;

Aos meus pais Gilda Sumburane e Francisco Neves pelo apoio moral e financeiro;

Aos meus irmãos Ana Baloi e Nélio Muzila por terem sido parte da edificação do meu carácter e minha personalidade durante a nossa convivência;

O meu profundo agradecimento vai também aos meus colegas de carteira durante esses 5 anos de faculdade, com destaque ao Necésio Ussaca, Augusto Virgílio, Faiza Barry, Orlisio Massingue. Um profundo obrigado ao meu mentor académico Moisés Edson da Constância Manuel.

Ao meu pastor José Humberto Ecclesiastes e a sua esposa Camila Ecclesiastes a quem desde o início consagraram estes meus maravilhosos e vitoriosos anos de estudos a Deus, e pelos seus ensinamentos afim de que me torne um estudante, um profissional diligente segundo a palavra de Deus;

Nada disso seria possível sem a ajuda e a paciência dos meus professores, o meu profundo agradecimento a todos que pacientemente ensinaram-me as bases da engenharia, não seria nem candidato a engenheiro se não me tivessem ensinado, muito obrigado ao Eng<sup>o</sup>. Fernando Evaristo Namburete quem é meu supervisor e tenho muito respeito e admiração, aos Eng<sup>o</sup>'s. Juscelino, Eneas, Macarringue, Simbine, Machava, Teodósia, Matsombe, Timba, a Arqt. Sónia, ao Dr. Magide, a Prof. Margarida, Dr. Samo, Eng<sup>o</sup> Douglas, Eng<sup>o</sup> Nhavotso, Eng<sup>o</sup> Rachid o meu eterno obrigado, vocês me puderam dar um bem que não coroe, não perde validade e ninguém pode roubar, vocês deram-me conhecimento.

**DEDICATÓRIA:**

*Dedico a presente monografia a Deus pela força e por me tornar grande e forte, a minha família em especial aos meus pais porque em meio a tantas dificuldades não mediram esforços para proporcionar-me recursos necessários, seja financeiro e logístico para que eu pudesse estudar no Ensino Superior e me formar.*

## RESUMO

Com desenvolvimento urbano tem surgido novas construções, alterando o sentido do escoamento ao longo da superfície, havendo necessidade de construir sistemas de drenagem capazes de direccionar essas águas a locais adequados, sem que estas causem danos humanos assim como infraestruturais.

Com a presente monografia pretende-se analisar a capacidade de secção de vazão das valas de drenagem construídas em Minguene pelo Conselho Municipal da Cidade de Maputo, a fim de saber se este sistema responde a demanda do caudal que afluí na mesma, verificando também alguns aspectos técnicos regulamentares na sua concepção.

O projecto em análise contempla essencialmente a execução de trabalhos de delimitação da bacia hidrográfica feito com auxílio de um software QGIS, assim como das áreas que o escoamento tem influência directa sobre o sistema de drenagem de Minguene pelo software GOOGLE EARTH, com objectivo de obter dados para determinação de caudais afluentes pelo método adequado. E posterior compara-los aos caudais que a vala de drenagem actualmente tem capacidade de escoar.

Para além dos cálculos realizados, apresentam-se fundamentos teóricos necessários à compreensão das técnicas abordadas e realiza-se uma apreciação de carácter qualitativo às várias soluções adoptadas.

**Palavras chaves:** capacidade de secção de vazão; valas de drenagem; caudais; escoamento.

## **ABSTRACT**

With urban development, new buildings have emerged, changing the direction of flow along the surface, with the need to build drainage systems capable of directing these waters to suitable places, without causing human or infrastructural damage.

The present monograph intends to analyze the flow section capacity of the drainage ditches built in Minguene by the Municipal Council of Maputo City, in order to know if this system responds to the flow demand that flows into it, also verifying some aspects regulatory technicalities in its design.

The project under analysis essentially contemplates the execution of work to delimit the hydrographic basin carried out with the help of QGIS software, as well as the areas where the flow has a direct influence on the Minguene drainage system using the GOOGLE EARTH software, with the aim of obtaining data for determination of affluent flows by the appropriate method. And later compares them to the flows that the drainage ditch currently has the capacity to drain.

In addition to the calculations carried out, theoretical foundations necessary for understanding the techniques addressed are presented and a qualitative assessment of the various solutions adopted is carried out.

**Keywords:** Flow section capacity; drainage ditches; flows; flow.

**Lista de Abreviaturas**

**BH-** Bacias Hidrográficas

**I-D-F-** Intensidade-Duração-Frequência

**INE-** Instituto Nacional de Estatística

**SCS-** Soil Conservation Service

**Qp-** Caudal de projecto

**CN** - número de escoamento da bacia hidrográfica

**Tc-** tempo de concentração

**PDUL-** Programa de Desenvolvimento Urbano e Local

**INAM-** Instituto Nacional de Meteorologia.

**DM-** Distritos Municipais

**DMIU-** Direcção Municipal de Infraestruturas Urbanas

**DAAS-** Departamento de Abastecimento de Água e Saneamento

**Ks-** Coeficiente de Manning Strickler

**Qinf-** Caudal de infiltração

**hu-** Altura uniforme

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Ciclo hidrológico, Fonte: MANUAL HIDROLOGIA (Álvaro Carmo Vaz,2013)...	6
<b>Figura 2:</b> Bacia hidrográfica .....	9
<b>Figura 3:</b> Expressão gráfica da curva IDF para Maputo.....	13
<b>Figura 4:</b> Parâmetros de curvas IDF para Moçambique Fonte: (VAZ & HIPOLITO, 2013)	17
<b>Figura 5:</b> Localização geográfica do Município de Maputo, Fonte: Conselho Municipal da Cidade de Maputo. ....	27
<b>Figura 6:</b> Divisão administrativa da Cidade de Maputo, Fonte: Atlas Escolar Municipal Da Cidade Maputo: de Pedro M. dos S. Neto e Sabil Mandala. ....	29
<b>Figura 7:</b> Uso de cobertura de solo na Cidade de Maputo, Fonte: Atlas Escolar Municipal Da Cidade Maputo: de Pedro M. dos S. Neto e Sabil Mandala. ....	30
<b>Figura 8:</b> Localização geográfica da zona de Minguene. Fonte: Google Earth.....	31
<b>Figura 9:</b> Residências de Minguene, Fonte: Autor .....	31
<b>Figura 10:</b> Secção transversal da vala de Minguene, Fonte: Autor. ....	32
<b>Figura 11:</b> Funcionalidade das valas, Fonte: DMIU.....	33
<b>Figura 12:</b> Bacia Hidrográfica onde Minguene está inserida; Fonte: Autor.....	35
<b>Figura 13:</b> Delimitação das zonas com caudais com influência na vala de Minguene; Fonte: Google Earth. ....	36
<b>Figura 14:</b> Representação da vala de Minguene; Fonte: Autor .....	37
<b>Figura 15:</b> Secção transversal da vala de Minguene em construção; Fonte: Autor .....	38
<b>Figura 16:</b> Desenho do corte transversal tipo da vala de Minguene; Fonte: Autor .....	40
<b>Figura 17:</b> Corte transversal da vala 1; Fonte: Autor.....	42
<b>Figura 18:</b> Corte transversal da vala da Maguiguana; Fonte: Autor.....	42
<b>Figura 19:</b> Corte transversal da vala 1; Fonte: Autor.....	43
<b>Figura 20:</b> Corte transversal da vala da Maguiguana; Fonte: Autor.....	44
<b>Figura 21:</b> Zona de Minguene.....	51
<b>Figura 22:</b> Cenário da vala de Minguene em dias normais. ....	51
<b>Figura 23:</b> Valas de Minguene nas chuvas de 10/02/2023; Fonte: Autor.....	53
<b>Figura 24:</b> Curvas de nível da zona de Minguene; Fonte: Google Earth.....	53

## Índices de tabela

<b>Tabela 2.1:</b> Factores condicionantes do escoamento (adaptado de <b>Chow <i>et al</i>, 1988</b> ).....	11
<b>Tabela 2.2:</b> Tempo de retorno admitido para algumas estruturas, Fonte: (Fragoso Jr & Das Neves, 2010) .....	15
<b>Tabela 2.3:</b> Tempo de retorno para sistemas urbanos, Fonte: (TOLEDO, 2017) .....	16
<b>Tabela 4.1:</b> Valores normais dos parâmetros em temperaturas Médias mensais, em milímetros (mm), da precipitação para a área da Cidade de Maputo (1986-2015) .....	29
<b>Tabela 4.2.</b> Caracterização da secção das valas.....	33
<b>Tabela 5.1.</b> Cálculo da intensidade de precipitação.....	37
<b>Tabela 5.2.</b> Delimitação das áreas com caudais influentes no sistema de drenagem de Minguene.....	38
<b>Tabela 5.3.</b> Cálculo do caudal da bacia hidrográfica onde está inserida Minguene.....	38
<b>Tabela 5.4.</b> Determinação dos caudais que tem influência sobre a vala de Minguene.....	38
<b>Tabela 5.5.</b> Verificação da capacidade da secção de vazão das valas.....	39
<b>Tabela 5.6.</b> Verificação da capacidade de vazão com base na inclinação mínima.....	40
<b>Tabela 5.7:</b> Valores recomendados para caudal de infiltração, fonte: SANTOS, (2016).....	41
<b>Tabela 5.8:</b> Caudal de dimensionamento.....	42
<b>Tabela 5.9:</b> Dimensionamento da vala com base $b= 3m$ .....	42
<b>Tabela 5.10.</b> Cálculo da secção rectangular óptima.....	44

**ÍNDICE**

<b>DECLARAÇÃO DE HONRA</b> .....	I
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	II
<b>DEDICATÓRIA:</b> .....	III
<b>RESUMO</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>Lista de Abreviaturas</b> .....	IV
<b>Índice de Figuras</b> .....	V
<b>Índices de tabela</b> .....	VI
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. Delimitação do tema .....	3
1.2. Justificativa .....	3
1.3. Problematização .....	4
1.4. Hipóteses .....	5
1.5. Objectivos .....	5
1.5.1. Geral .....	5
1.5.2. Específico .....	5
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	6
2.1. Conceito de ciclo hidrológico .....	6
2.1.1. Variáveis do ciclo hidrológico .....	7
2.2. Bacias Hidrográficas .....	9
2.3. Drenagem .....	10
2.3.1. Sistema de drenagem .....	10
2.3.2. Componentes do sistema de drenagem urbana .....	11
2.4. Dimensionamento dos Órgãos de Drenagem .....	12
2.4.1. Caracterização Geral dos Fenómenos de Escoamento nas Bacias Hidrográficas .....	12
2.4.2. Determinação do caudal de ponta de Cheia .....	17

2.4.3.	Dimensionamento Hidráulico de valas de drenagem superficial.....	22
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
3.1.	Caracterização da Pesquisa.....	25
3.1.1.	Quanto a natureza .....	25
3.1.2.	Do ponto de vista de objectivos .....	25
3.1.3.	Do ponto de vista de procedimentos técnicos.....	25
3.1.4.	O ponto de vista da forma de abordagem do problema .....	26
3.1.5.	Técnicas de Recolha de Dados .....	26
<b>4.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>27</b>
4.1.	Enquadramento geográfico.....	27
4.2.	Clima (precipitação, temperatura e humidade).....	28
4.3.	Descrição demográfica e urbana.....	29
4.3.1.	Limites do bairro de Minguene.....	30
4.3.2.	Descrição do projecto .....	31
4.3.3.	Classificação das Valas de drenagem de Minguene .....	32
4.3.4.	Modo de funcionamento das valas de Minguene.....	33
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
5.1.	Período de retorno .....	34
5.2.	Cálculo da intensidade de precipitação .....	34
5.2.1.	Delimitação da bacia hidrográfica onde Minguene está inserida .....	34
5.3.	Verificação da capacidade da secção de vazão das valas de Minguene .....	36
5.3.1.	Cálculo do caudal.....	36
5.3.2.	Verificação da capacidade de vazão das valas.....	37
5.4.	Dimensionamento das valas com base no caudal médio calculado.....	40
5.4.1.	Condicionando a base da vala.....	40
5.4.2.	Dimensionamento da vala com a secção rectangular de máxima eficiência hidráulica .....	42

<b>6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>45</b>
6.1. Conclusão .....	45
6.2. Recomendações .....	46
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o PDUL (2020) a urbanização é sem dúvida uma tendência inevitável, incontornável e positiva que, contudo, tem o potencial de aumentar muito o risco de inundações nas zonas ocupadas. O impacto do futuro crescimento urbano sobre o risco de inundações é influenciado pelas políticas e escolhas dos residentes nas cidades, pois eles podem ou não ocupar áreas em risco de inundação ou adoptar planeamento e projectos urbanos adequados. Esta incerteza, quanto ao futuro, associado à forma de ocupação do solo urbano, pode ser reduzida ou até eliminada quando se adopta e segue-se um plano de urbanização. Isto exige firmeza das entidades de gestão do solo autárquico no exercício do seu poder de regulamentar o uso do solo urbano.

Moçambique é ciclicamente afectado por eventos extremos, sendo a cheia um deles. Por isso, as entidades de direito têm instrumentos de gestão que orientam os planos de aproveitamento do território, baseados na identificação das áreas mais susceptíveis de serem afectadas por eventos climáticos extremos e outros perigos. Existem vários registos históricos de inundação e cheias, sendo as cidades localizadas na parte sul do País e em zonas adjacentes às planícies de inundação dos principais rios, as que estão mais propensas a estes riscos. (PDUL, 2020).

Nas zonas urbanas, vulneráveis a enchentes tem se recorrido a construção de sistemas de drenagem urbana, que segundo TUCCI & CRUZ (2000) é o conjunto de medidas que tem como objectivo minimizar os riscos que a população está sujeita, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmónica, articulada e sustentável. Todo esse método é de suma importância, pois gerência as águas decorrentes das chuvas que escoam por meio urbano, contribuindo com a minimização de alagações e inundações.

Em relação aos outros melhoramentos urbanos, o sistema de drenagem tem uma particularidade: escoamento das águas das chuvas intensas sempre ocorrerá, independente de existir ou não sistema de drenagem adequado. A qualidade desse sistema é que determinará se os benefícios ou prejuízos à população serão maiores ou menores (NUNES & CARARA, 2017). O serviço de drenagem e saneamento constitui um dos principais serviços públicos, que se bem executado, elevará a qualidade de vida da população beneficiária.

Dentre vários tipos de valas de drenagem existem as valas de drenagem construídas especialmente para zonas que apresentam elevado nível freático devido as cotas relativamente próximas ao nível médio das águas do mar ou de um rio, e é empregue essa técnica de valas

em muros de gabiões para permitir com que as águas das chuvas assim como do lençol freático afluem a vala.

A procura por um espaço na urbe tem levado alguns munícipes a contruir em lugares propensos a cheias e inadequado para construção, e este cenário é também visível na Cidade de Maputo concretamente em Minguene, onde também influenciado pelo crescimento urbano acelerado e o desenvolvimento constante a cada ano do bairro da Costa do Sol, os territórios a redores evoluíram e amplificaram-se causando grandes modificações ambientais e necessitando cada vez mais do auxílio da engenharia.

As novas edificações a volta de Minguene tornaram esta zona um lugar ainda mais propenso a inundações, pois essas edificações elevaram as suas cotas a fim de rebaixar o lençol freático, fazendo de Minguene uma bacia, (um ponto onde as águas convergem devido as cotas baixas que esta apresenta), o que levou o Conselho Municipal da Cidade de Maputo a erguer um sistema de drenagem com objectivo de drenar as águas resultantes do lençol freático e das águas da chuva em Minguene. O presente trabalho, pretende avaliar a capacidade de secção de vazão das valas de drenagem contruída na zona de Minguene a fim de saber se a mesma responderá as demandas dos caudais que nela irão incidir.

## **1.1. Delimitação do tema**

O presente trabalho cinge-se na avaliação da capacidade de vazão da vala construída pelo Conselho Municipal da Cidade de Maputo para zona de Minguene, afim de saber se esse sistema responde eficazmente o objectivo pelo qual foi projectado, que é drenar as águas do lençol freático, assim como da chuva, já que esta mesma zona é propensa a inundações. O estudo vai se cingir na avaliação das valas que compõem o sistema todo, isto é, vala 1, vala 2, vala 3 e a vala da Maguiguana.

## **1.2. Justificativa**

Alguns pontos da Cidade de Maputo devido a sua vulnerabilidade a inundações são locais proibidos de construir ou habitar, apesar de serem zonas não propriamente habitáveis são encontradas nas mesmas famílias habitando nelas, mas com o andar do tempo com crescimento das técnicas de engenharia esses bairros devido a sua localização vão se tornando habitáveis, com aplicações destas técnicas de engenharia afim de rebaixar o nível freático elevando as cotas dos terrenos.

Concretamente na zona de Minguene, o Conselho Municipal da Cidade de Maputo elaborou um projecto de construção de valas em muros de gabiões a fim de drenar as águas que inundam as casas de Minguene após e durante a ocorrência das chuvas, sistema esse que tem como objectivo não só drenar as águas pluviais assim como do lençol freático, o que certamente sendo eficaz poderá resolver a questão das inundações dos moradores de Minguene.

Deste modo o presente trabalho permitirá saber, se o sistema em construção possui uma secção com a capacidade de vazão, para responder ás demandas das águas de Minguene e consequentemente até que nível de melhoria esse sistema beneficia aos moradores de Minguene, o que poderá ajudar aos moradores a prever se poderão sonhar com um futuro sem inundações nas suas casas e quintais, ou será mesmo o tempo de começar a pensar em abandonar o bairro.

### 1.3. Problematização

Em certos pontos da Cidade de Maputo existem terrenos urbanos com cotas baixas relativamente ao nível médio das águas do mar, o que faz com que essas mesmas zonas estejam propensas a inundações.

Não obstante, a zona de Minguene no bairro da Costa do Sol é desde tempos uma área propensa a inundações, mas nos últimos anos a sua vulnerabilidade aumentou com o surgimento de novas edificações, pois devido ao elevado nível freático no bairro os novos edifícios construídos nas proximidades elevaram as cotas dos terrenos sob forma de rebaixar o nível freático, como consequência a zona de Minguene tornou-se uma bacia (todas as águas convergem para esta zona) devido ao aumento das cotas das novas edificações, tendo desta forma sido necessário o Conselho Municipal intervir com a construção de um sistema de drenagem capaz de drenar as águas das chuvas e do lençol freático em Minguene e arredores.

Foi possível observar durante algumas visitas efectuadas a Minguene e nas zonas arredores abrangidas pelo sistema de drenagem em construção, que por estas zonas possuírem cotas baixas relativamente ao nível médio das águas do mar consequentemente elevado nível freático, após a ocorrência da chuva os moradores recorriam a camiões de sucção a fim de reduzir as enchentes das águas da chuva por meio de um processo de sucção com camiões cisternas, sendo essa solução inviável para os mais desfavorecidos concretamente os moradores de Minguene, fazendo com que os mesmos vivam com seus quintais e residências totalmente inundados, até que essas águas sejam drenadas por meio de processos naturais.

De forma a responder a esta situação de Minguene o Conselho Municipal da Cidade de Maputo levou a cabo construção de valas de drenagem em muros de gabiões.

Face a construção desse sistema de drenagem, levanta-se a seguinte questão de pesquisa:

**Será que a secção das valas de drenagem construídas para Minguene possuem a capacidade de vazão para responder a demanda dos caudais que incidem sobre as mesmas?**

## **1.4. Hipóteses**

### **Hipóteses básica**

- a. O sistema de drenagem construído em Minguene composto por vala em gabiões tem a capacidade de vazão para responder a demanda das águas pluviais assim como das águas provenientes do lençol freático.

### **Hipótese secundária**

- b. O sistema de drenagem em gabiões construído para Minguene não consegue responder eficazmente a demanda dos caudais pluviais e do lençol freático naquela zona.

## **1.5. Objectivos**

### **1.5.1. Geral**

- Avaliar a capacidade de vazão da secção da vala de drenagem de Minguene

### **1.5.2. Específico**

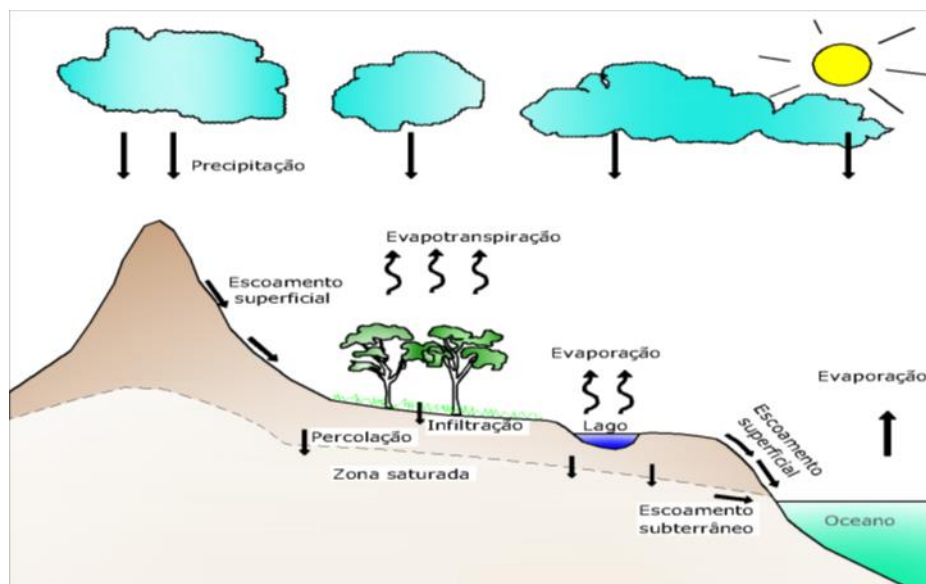
- Delimitar a bacia hidrográfica onde Minguene está inserida;
- Caracterizar fisiograficamente Minguene;
- Determinar os caudais incidentes em Minguene e capacidade da secção de vazão das valas de drenagem.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Conceito de ciclo hidrológico

O conceito de **ciclo hidrológico** é extremamente útil para se iniciar o estudo da Hidrologia. O ciclo hidrológico pode ser descrito como um conjunto de arcos que representam os diversos caminhos através dos quais a água na natureza circula e se transforma, constituindo um sistema de enorme complexidade (VAZ & HIPOLITO, 2013).

O ciclo hidrológico não tem início ou fim: o ponto de início para a descrição do ciclo hidrológico é arbitrário, podendo por exemplo partir-se da evaporação da água dos oceanos e sua passagem para a atmosfera.



**Figura 1:** Ciclo hidrológico, Fonte: MANUAL HIDROLOGIA (VAZ & HIPOLITO, 2013)

A precipitação que cai sobre a terra pode seguir caminhos diversos:

- Parte evapora-se durante a queda;
- Parte é interceptada por árvores, vegetação ou telhados de casas e volta a evaporar-se;
- Parte atinge a superfície do solo, infiltrando-se ou ficando retida em depressões superficiais.

A parte retida em depressões superficiais divide-se numa componente que se evapora e noutra que origina escoamento superficial. A parte que se infiltra contribui, por um lado, para alimentar o processo de transpiração das plantas e de evaporação a partir do solo; por outro, por efeito da gravidade, vai alimentar as toalhas de água subterrânea. As águas subterrâneas

contribuem para alimentar a vegetação, a evaporação a partir do solo e os escoamentos dos rios (VAZ & HIPOLITO, 2013).

Por efeito da gravidade, parte das águas subterrâneas vai ter directamente ao oceano. O escoamento superficial sobre o solo dá origem a linhas de água que se fundem em rios os quais, devido à gravidade, vão descarregar no oceano, alimentando no seu percurso lagos, pântanos e albufeiras. Em todo este processo, há continuamente evaporação da água da mesma forma que pode haver precipitação directamente sobre os rios e lagos.

Também os rios contribuem muitas vezes para alimentar as toalhas de água subterrânea com que comunicam (VAZ & HIPOLITO, 2013).

Com a descarga da água no oceano por escoamento superficial ou escoamento subterrâneo fecha-se o ciclo hidrológico. O "motor" deste ciclo é a energia solar que, no processo de passagem de partículas de água para atmosfera por evaporação, lhes transmite a energia potencial necessária para o seu regresso ao oceano, actuadas pela gravidade a partir da precipitação.

### **2.1.1. Variáveis do ciclo hidrológico**

Dentro do ciclo hidrológico, a água pode estar no estado gasoso, líquido ou sólido, distribuindo-se tanto na subsuperfície e superfície da terra como na atmosfera. Portanto, a água está em constante circulação, passando de um meio a outro e de um estado físico a outro, sempre mantendo o equilíbrio, sem ganhos ou perdas de massa no Sistema (DOS SANTOS, 2014).

Os processos que permitem esta circulação da água são: evaporação, transpiração, precipitação, escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo.

#### **2.1.1.1. Precipitação**

Entende-se por precipitação a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre sob qualquer forma: chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada (MONTEBELLER, CARVALHO, & SOBRINHO, 2001). Representa o elo de ligação entre os demais fenômenos hidrológicos e o fenômeno do escoamento superficial, sendo este último o que mais interessa ao engenheiro (MONTEBELLER, CARVALHO, & SOBRINHO, 2001). A precipitação pode ocorrer sob diversas formas: chuva, neve, granizo, orvalho, neblina ou geada.

### **2.1.1.2. Água subterrânea**

Água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios inter granulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da humidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada (BORGHETTI, BORGHETTI, & ROSA FILHO, 2004).

Após a precipitação, parte das águas que atinge o solo se infiltra e percola no interior do subsolo, durante períodos de tempo extremamente variáveis, decorrentes de muitos fatores:

- Porosidade do subsolo: a presença de argila no solo diminui sua permeabilidade, não permitindo uma grande infiltração;
- Cobertura vegetal: um solo coberto por vegetação é mais permeável do que um solo desmatado;
- Inclinação do terreno: em declividades acentuadas a água corre mais rapidamente, diminuindo a possibilidade de infiltração;
- Tipo de chuva: chuvas intensas saturam rapidamente o solo, ao passo que chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem.

Segundo BORGHETTI, & ROSA FILHO (2004) durante a infiltração, uma parcela da água sob a ação da força de adesão ou de capilaridade fica retida nas regiões mais próximas da superfície do solo, constituindo a zona não saturada. Outra parcela, sob a ação da gravidade, atinge as zonas mais profundas do subsolo, constituindo a zona saturada.

### **2.1.1.3. Escoamento superficial**

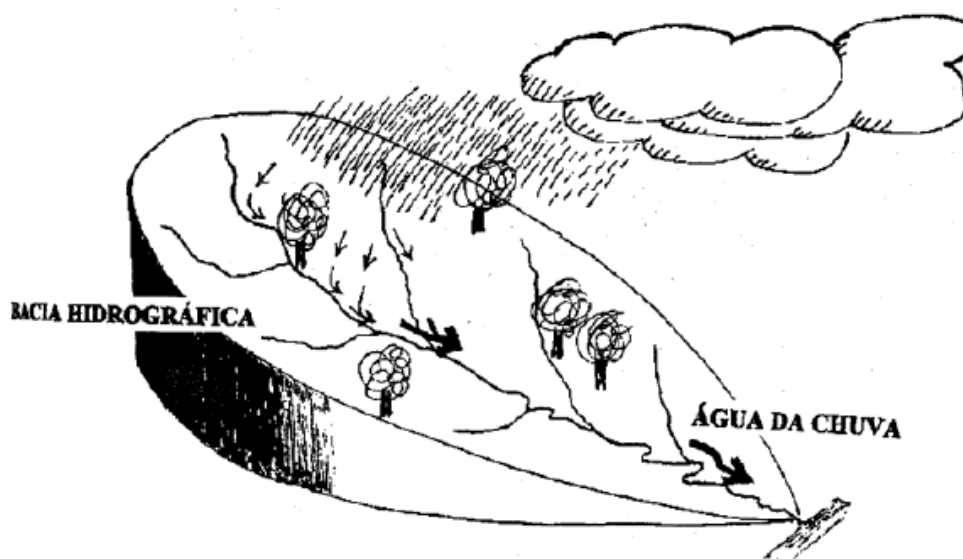
Segundo PORTO, ZAHED, & SILVANA (1999) o escoamento superficial é o processo do ciclo hidrológico do deslocamento das águas na superfície da Terra, ou seja, representa o fluxo sobre a superfície do solo das bacias hidrográficas e pelos seus múltiplos canais. O escoamento superficial tem origem, fundamentalmente, nas precipitações, isto é, quando a chuva atinge a superfície terrestre parte da água se infiltra no solo e a quantidade de excedente escoar na superfície, a quantidade de água escoada ela é dependente de alguns factores como a intensidade da chuva e a capacidade de infiltração do solo.

As águas superficiais que diferentes da água subterrânea acumulam-se na superfície da terra, escoam devido a ocorrência das chuvas ou devido a ressurgência das águas subterrâneas dando origem a rios, lagoas, lagos, zonas húmidas e córregos

## 2.2. Bacias Hidrográficas

Segundo VAZ & HIPOLITO (2013) uma **bacia hidrográfica** é uma região definida topograficamente, drenada por um curso de água ou um sistema interligado de cursos de água, tal que a única entrada de água na região seja a precipitação e todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída (secção de referência da bacia).

Quando o balanço hídrico é realizado na região correspondente a uma bacia hidrográfica, ele torna-se consideravelmente simplificado já que a única entrada de água corresponde à precipitação e a saída de água se faz numa única secção.



**Figura 2:** Bacia hidrográfica

Fonte: Manual de Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é limitada pela **linha de separação das águas**. Esta linha passa pelos pontos de máxima cota entre bacias, seguindo pelas linhas de cumeeada, podendo, no entanto, existir pontos mais altos no interior da bacia. A linha de separação divide a região onde a precipitação caída vai dar origem a escoamento drenado através da secção de referência das regiões vizinhas, drenadas por outros cursos de água (VAZ Á. C., 2007).

Segundo MARTINS (2000) baseado em Chow *et al* (1988), os factores condicionantes do escoamento podem ser separados em dois grupos, os climáticos e os fisiográficos, cuja classificação se apresenta na tabela 1.

**Tabela 2.1:** Factores condicionantes do escoamento (adaptado de **Chow et al, 1988**).

<i>Grupo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Factor</i>
Climáticos	Precipitação	Modalidade (chuva, neve, granizo, orvalho, neblina ou geada), distribuição no tempo e no espaço, frequência de ocorrência, direcção dominante das tempestades, precipitação precedente e humidade do solo.
	Evaporação	Temperatura, vento, pressão atmosférica, natureza e superfície de evaporação.
	Transpiração	Temperatura, radiação solar, vento, humidade do ar e do solo e tipo de vegetação.
Fisiográficos	Características da bacia	Geométricas: - forma, tamanho, declive, orientação e elevação. Físicas: - cobertura e utilização do solo, tipo de solo, infiltração, permeabilidade, topografia e capacidade de formar toalhas subterrâneas.
	Características dos cursos de água	Capacidade de escoamento: dimensão e forma da secção transversal, declive, rugosidade, características da rede hidrográfica e comprimento do curso de água. Capacidade de armazenamento.

## **2.3.Drenagem**

**Drenagem** é o acto de escoar as águas de terrenos encharcados por meio de tubos, túneis, canais, valas sendo, possível, recorrer a motores como apoio ao escoamento. Os canais podem ser naturais (córregos) ou artificiais (de betão simples, betão armado ou gabião). Os sistemas de drenagem podem ser urbanos ou rurais e visam a escoar as águas de chuvas e evitar enchentes (MILDÕES, 2010).

### **2.3.1. Sistema de drenagem**

Segundo MELO (2007), um sistema de drenagem urbano é um conjunto ordenado de estruturas naturais e de engenharia que permite escoar as águas superficiais numa determinada área, de tal modo que sejam preservadas as qualidades naturais de conforto e de harmonia necessárias para o fluxo dos cursos de água, sem que venha a produzir impactos negativos para o homem. Os sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais são um importante agente na gestão das águas pluviais e têm como objetivo primordial assegurar a recolha e o transporte das águas das chuvas, em condições apropriadas, para um meio recetor, de forma a evitar a ocorrência de inundações indesejáveis. Pode afirmar-se que a drenagem pluvial urbana não é só uma necessidade, mas uma prioridade por estar diretamente ligada à qualidade de vida e à segurança de pessoas e bens (MARQUES, 2013).

Segundo FREITAS (2018) baseado em SOUZA (2012), o sistema de drenagem possui duas particularidades importantes:

- Existindo ou não um sistema de drenagem adequado, o escoamento ocorre. Dessa forma, o mau funcionamento do sistema faz com que águas da chuva se acumulem ou escoem pelas superfícies urbanas, ocasionando os alagamentos e enxurradas;
- A solicitação do sistema de drenagem só se dá durante e após a ocorrência de um evento chuvoso e a intensidade da solicitação também é dependente da intensidade e duração da chuva.

Os benefícios que advêm da correta implantação de um adequado sistema de drenagem pluvial são inúmeros podendo apontar-se alguns:

- Redução das áreas inundadas;
- Proteção do tráfego rodoviário e pedestre;
- Redução de gastos com manutenção das vias públicas e áreas adjacentes permeáveis e impermeáveis;
- Escoamento rápido das águas superficiais;
- Eliminação da presença de águas estagnadas;
- Abaixamento do nível freático;
- Redução da erosão hídrica do solo.

### **2.3.2. Componentes do sistema de drenagem urbano**

Segundo (PINTO & PINHEIRO, 2006) O sistema urbano de drenagem pode ser conceituado como o conjunto de elementos que compõem a infraestrutura para a realização da colecta, transporte e lançamento dos efluentes pluviais que escoam na superfície. Esses elementos são classificados como: drenagem na fonte, microdrenagem e macrodrenagem.

**A drenagem na fonte** é caracterizada pelo escoamento de áreas específicas, o lote, condomínio ou empreendimento individualizado, estacionamentos, parques e passeios. (TUCCI C. E., 2003).

### ➤ **Microdrenagem**

É definida pelo sistema de condutas construídas para receber e conduzir águas das chuvas vindas das construções, lotes, ruas e praças. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender a drenagem de precipitações com risco moderado (TOLEDO, 2017).

O sistema típico de microdrenagem de águas pluviais é constituído por quatro estruturas básicas: as redes de coletoras, os ramais de ligação, os dispositivos de entrada (sarjetas e sumidouros) e os poços de visita.

### ➤ **Macro drenagem**

A macrodrenagem, por sua vez, é composta pelo conjunto de galerias de águas pluviais e canais, sejam eles naturais ou artificiais, que recebem os grandes volumes de água coletadas na microdrenagem (TOLEDO, 2017).

## **2.4. Dimensionamento dos Órgãos de Drenagem**

### **2.4.1. Caracterização Geral dos Fenómenos de Escoamento nas Bacias Hidrográficas**

#### **2.4.1.1. Precipitação e Escoamento**

Para dimensionar os órgãos de drenagem, é preciso saber os caudais que eles afluem. Esses caudais resultam essencialmente da chuva que cai na bacia ao referido órgão.

Uma bacia hidrográfica em que sejam desprezáveis as eventuais permutações directas de água com bacias hidrográficas adjacentes constitui um sistema hidrológico em que a entrada é a precipitação sobre a bacia e a saída e o escoamento, a evaporação e a infiltração profunda (OLIVEIRA, 1999).

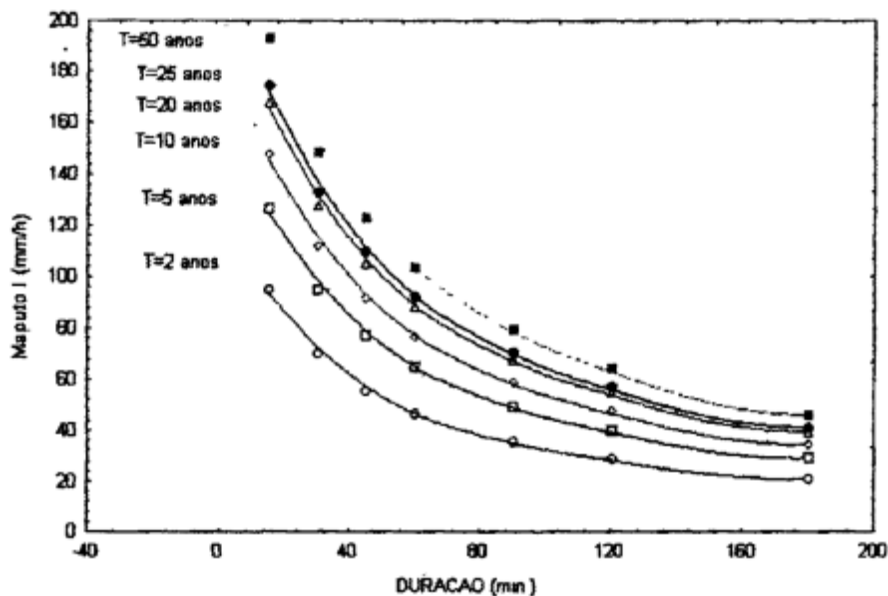
A quantidade de precipitação caída por unidade de área num certo intervalo de tempo chama-se precipitação total e exprime-se em  $l/m^2$  ou o que é equivalente, em mm. Ela divide-se em três partes principais que irão ter evoluções diferentes no ciclo hidrológico:

- A parte da precipitação total que se transforma directamente em escoamento superficial ou directo, a que se chama de precipitação útil;
- A parte da precipitação total que se infiltra, tendo um certo tempo de retenção no solo, originando o escoamento subsuperficial e o escoamento subterrâneo que regressam a superfície dentro dos limites da bacia constituindo o que se chama o escoamento de base.

### 2.4.1.2. Tempo de retorno

Segundo DA PAZ (2004) período de retorno T representa o tempo que, em média decorre entre a ocorrência de uma cheia com determinado caudal de ponta (caudal máximo) e a ocorrência seguinte de uma cheia com caudal de ponta igual ou superior. Se uma cheia com determinado caudal de ponta ocorre uma vez em 20 anos, o período de retorno será 20 anos e a frequência de ocorrência da cheia será  $1/20$ , o que corresponde também a probabilidade de ocorrência num dado período.

O período de retorno a considerar no dimensionamento das obras de drenagem é fixado em geral em função dos riscos decorrentes da ocorrência de uma cheia maior do que a de cálculo, durante a vida da obra.



**Figura 3:** Expressão gráfica da curva IDF para Maputo

Fonte: (VAZ & HIPOLITO, 2013)

**Tabela 2.2:** Tempo de retorno admitido para algumas estruturas, Fonte: (FRAGOSO Jr & DAS NEVES, 2010).

<i>Estrutura</i>	<b>Tempo de retorno</b>
<i>Bueiros de estradas pouco movimentadas</i>	5 a 10
<i>Bueiros de estradas pouco movimentadas</i>	50 a 100
<i>Pontes</i>	50 a 100
<i>Diques de protecção de cidades</i>	50 a 200
<i>Drenagem pluvial</i>	2 a 10
<i>Grandes barragens (vertedor)</i>	10 mil
<i>Pequenas barragens</i>	100

➤ **Tempo de retorno para sistemas urbanos**

Em projecto de áreas urbanas, como haverá alterações na bacia, o risco adoptado se refere à ocorrência de uma determinada precipitação e não necessariamente da vazão resultante, que é consequência da precipitação em combinação com outros factores da bacia hidrográfica. Desta forma, quando não for referenciado de forma específica neste texto, o risco citado é sempre o da precipitação envolvida (TOLEDO, 2017).

Segundo TOLEDO (2017) o risco adoptado para um projeto define a dimensão dos investimentos envolvidos e a segurança quanto a enchentes. A análise adequada envolve um estudo de avaliação econômica e social dos impactos das enchentes para a definição dos riscos. No entanto, esta prática é inviável devido o custo do próprio estudo para pequenas áreas. Desta forma, os períodos de retorno usualmente adotados (diferentes fontes da literatura) são apresentados na tabela seguinte.

**Tabela 2.3:** Tempo de retorno para sistemas urbanos, Fonte: (TOLEDO, 2017)

<b>Sistema</b>	<b>característica</b>	<b>Intervalos (anos)</b>	<b>Valores recomendados (anos)</b>
<b>Microdrenagem</b>	Residencial	2-5	2
	Comercial	2-5	2
	Áreas de prédios públicos	2-5	2
	Áreas comerciais e Avenidas	2-10	2
	Aeroporto	5-10	5
<b>Macro-drenagem</b>		10-50	10
<b>Zonas ribeirinhas</b>		5-100	50

O projectista deve procurar analisar adicionalmente o seguinte:

- Escolher o limite superior do intervalo da tabela quando implicar em grandes riscos de interrupção de tráfego, prejuízos materiais, potencial interferência em obras de infraestrutura como subestações elétricas, abastecimento de água, armazenamento de produtos danosos quando misturado com água e hospitais;
- Quando existir risco de vida humana deve-se definir um programa específico de defesa civil e alerta para a área de risco em questão.

#### **2.4.1.3. Intensidade da precipitação**

A intensidade média da precipitação,  $I$ , razão entre a quantidade de precipitação e a duração do intervalo de tempo em que ocorreu, é traduzida por termos como chuvisco e aguaceiro ou como precipitação ligeira ( $I < 1 \text{ mmh}^{-1}$ ), precipitação moderada ( $1 \text{ mmh}^{-1} \leq I \leq 4 \text{ mmh}^{-1}$ ) ou precipitação intensa ( $I > 4 \text{ mmh}^{-1}$ ). Entre outros fatores, as precipitações intensas estão na origem de cheias e de inundações e de processos erosivos que ocorrem à superfície do globo, e a sua consideração é frequentemente obrigatória ou desejável para a determinação do caudal de dimensionamento de obras hidráulicas e de atravessamento de cursos de água e para a delimitação de zonas inundáveis (VAZ & HIPOLITO, 2013).

Passos a adoptar para o cálculo da intensidade da precipitação do projecto:

1. Localização da área de estudo no mapa e identificação da região pluviométrica.

2. Cálculo da intensidade da precipitação para a duração e período de retorno escolhidos com base nas curvas I-D-F de Maputo;
3. Afectação do valor obtido pelo factor multiplicativo correspondente á região pluviométrica em causa.

Expressão analítica das curvas IDF para Maputo

$$I = a \cdot t^b \quad \text{Eq. (1.0)}$$

Em que:

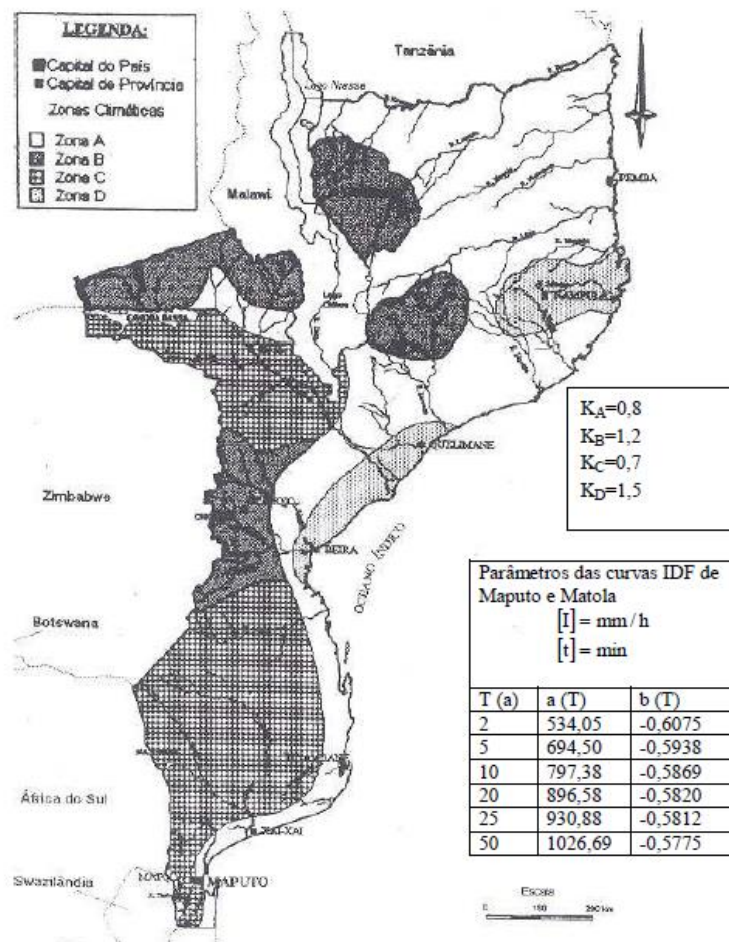
T - Período de retorno (anos);

I - Intensidade da precipitação (mm/h);

a,b- parâmetros adimensionais;

t- Duração (min).

Apresentam-se os parâmetros das curvas IDF de Moçambique. Os parâmetros K que se apresentam na referida figura, um para cada zona climática, são fatores multiplicadores da intensidade da precipitação que se obtém com os parâmetros a(T) e b(T) das curvas IDF de Maputo e Matola.



**Figura 4:** Parâmetros de curvas IDF para Moçambique Fonte: (VAZ & HIPOLITO, 2013)

#### 2.4.2. Determinação do caudal de ponta de Cheia

Segundo MARTINS (2000) as cheias são fenómenos naturais, decorrentes do carácter aleatório dos processos hidrológicos, cujo conhecimento interessa aprofundar para se reduzirem os riscos delas decorrentes.

Para a determinação dos caudais de ponta de cheia, existem três tipos de abordagens:

- **Fórmulas empíricas**, deduzidas a partir da experiência, tendo em consideração a área da bacia hidrográfica, sem associarem os resultados a probabilidades de ocorrência; A utilização deste tipo de fórmulas, apesar de não ser muito aconselhável, por não associarem aos resultados uma probabilidade estatística de ocorrência, pode ter interesse para a determinação de cheias excepcionais, quando não se dispõe de informação hidrométrica suficiente e quando tenham sido deduzidas para regiões

climaticamente equivalentes (LENCASTRE, 1992) São exemplos de fórmulas empíricas, as de Whistler, Pagliaro, Forti e Iskowski.

- **Fórmulas de base estatísticas**, que têm como finalidades: a análise de valores referentes a uma dada secção; a extensão de uma amostra de valores por correlação com a precipitação na bacia; a regionalização dos valores obtidos para algumas secções por correlação com características físicas da bacia.
- **Fórmulas cinemáticas**, e têm em consideração as características do movimento da água na bacia hidrográfica, traduzidas normalmente através das noções de tempo de concentração e de chuva crítica (chuva que origina o maior caudal de ponta para um dado período de retorno). As mais divulgadas em Portugal são a fórmula racional e as fórmulas de Giandotti, David, SCS, Temez e Mockus.

#### 2.4.2.1. Tempo de concentração

O tempo necessário para uma partícula de água vinda do ponto mais afastado da bacia chegar a secção terminal, chama-se “tempo de concentração” da bacia ou “tempo característico” ( $t_c$ ), e pode ser estimado medindo o tempo que decorre entre o final da chuva que da origem ao escoamento e o fim do escoamento (MOTA, 2012).

Para calcular os tempos de concentração em bacias hidrográficas urbanas e rurais, apresentam-se de seguida as expressões propostas por Temez, Kirpich e SCS, frequentemente utilizados nos projectos de drenagem transversal.

- **Kirpich (1940)** propôs a seguinte expressão para calcular o tempo de concentração

$$t_c = 0.946 \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}} \quad \text{Eq. (2.0)}$$

Sendo:

L – Comprimento do curso de água principal da bacia (km);

$t_c$  - tempo de concentração (h);

H - Declive médio do curso de água principal da bacia (m);

Esta expressão utiliza-se em bacias naturais com áreas até 3000 km<sup>2</sup>

- **David (1976)** propôs também uma fórmula idêntica à de Kirpich

$$t_c = 0,000324 \frac{L^{1.15}}{\Delta H^{0.38}} \quad \text{Eq. (3.0)}$$

Sendo:

$t_c$  - tempo de concentração (h);

$L_b$  - comprimento do curso de água principal da bacia (m);

$\Delta h$  - diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal (m).

A expressão de **David (1976)** está incluída numa metodologia para o cálculo do caudal de ponta de cheia em bacias hidrográficas com áreas até 25 km<sup>2</sup>.

- **Temez (1978)** analisou várias bacias espanholas e propôs a seguinte expressão:

$$t_c = 0.3 \left( \frac{L_b}{i_m^{0.25}} \right)^{0.76} \quad \text{Eq. (4.0)}$$

sendo:

$t_c$  - tempo de concentração (h);

$i_m$  - declive médio do curso de água principal da bacia (m/m);

$L_b$  - comprimento do curso de água principal da bacia (km).

A expressão anterior poderá ser utilizada em bacias hidrográficas naturais com áreas até 3000 km<sup>2</sup>.

### **Soil Conservation Service**

(SCS, 1973) calcula o tempo de concentração,  $t_c$ , de uma bacia hidrográfica recorrendo ao tempo de atraso,  $t_l$ , pela seguinte expressão, aplicável para precipitações uniformes sobre a bacia hidrográfica

$$t_c = 1.67 \cdot t_l \quad \text{Eq. (6.0)}$$

(SCS, 1973) define tempo de atraso como o tempo compreendido entre as ocorrências do centro de gravidade do hietograma da precipitação útil e da ponta do hidrograma. Este parâmetro pode ser calculado a partir de hietogramas e hidrogramas observados. No caso de não existirem tais registos, o tempo de atraso é

$$t_l = \frac{L_b^{0.8}(S_{mr}+1)^{0.7}}{734.43 \cdot i_{mb}^{0.5}} \quad \text{Eq. (7.0)}$$

sendo:

$t_l$  - tempo de atraso (h);

$i_{mb}$  - declive médio da bacia hidrográfica (%);

$L_b$  - comprimento do curso de água principal da bacia (m);

$S_{mr}$  - capacidade máxima de retenção, dada por  $S_{mr} = (25400/CN) - 254$ ;

CN - número de escoamento da bacia hidrográfica (*curve number*).

A expressão anterior, para calcular o tempo de atraso, foi desenvolvida a partir de dados referentes a bacias agrícolas. É indicada para ser utilizada em bacias rurais com área inferior a 2000 acres (ou 8 km<sup>2</sup>). (MARTINS, 2000).

#### 2.4.2.2.Caudal de Projecto (Qp)

**Caudal de Projecto (Qp)** - Vazão de projeto entende-se o valor instantâneo de pico (ou o hidrograma de cheia), calculado indiretamente a partir da transformação da chuva de projeto em vazão do escoamento superficial (SILVA & BATISTA, 2000).

#### 2.4.2.3.Método racional

Segundo MARTINS (2000) A fórmula racional é reconhecidamente a de maior utilização e divulgação à escala mundial. Desde que se tomem em consideração as suas limitações, a adequação dos seus parâmetros de base e a correcta definição dos procedimentos da sua aplicação, é seguramente muito útil.

As limitações da fórmula racional, resultantes da sua aplicação, prendem-se com as simplificações de natureza hidrológica e hidráulica da sua formulação. As simplificações hidrológicas residem em admitir a precipitação como invariável no espaço e no tempo e em considerar a transformação precipitação-escoamento como sendo uma relação linear traduzida por um coeficiente de escoamento constante. Do ponto de vista hidráulico, as limitações da fórmula racional residem no facto de considerar que o caudal de ponta de cheia só ocorre quando toda a bacia está a contribuir para o escoamento (MARTINS, 2000).

Segundo MARTINS (2000) baseado em (Lencastre, 1992) apesar de não existir consenso, a nível mundial, relativamente à dimensão das bacias hidrográficas que deve constituir o limite de aplicabilidade da fórmula racional, em Portugal tem sido utilizada, com resultados satisfatórios, em bacias com áreas inferiores a 25 km<sup>2</sup>.

A utilização da fórmula racional requer o conhecimento da área e tipo de ocupação do solo da bacia hidrográfica, do tempo de concentração e da curva de possibilidade udométrica ou curvas IDF para um dado período de retorno. A fórmula racional é definida por

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad \text{Eq. (8.0)}$$

Onde

C- É o coeficiente de escoamento da bacia hidrográfica (aproximadamente N/100), relação entre o caudal por unidade de área da bacia e a intensidade média da chuvada. Não tem dimensões e considera-se constante na bacia considerada e durante a chuvada.

I - Intensidade da precipitação (mm/h);

Q<sub>p</sub>- Caudal do projecto (m<sup>3</sup>/s);

A-Área da bacia (Km<sup>2</sup>).

#### **2.4.2.4.Fórmula do SCS para pequenas bacias naturais e urbanas**

Se uma bacia for submetida a uma precipitação de intensidade constante uniformemente distribuída sobre toda ela, uma situação de equilíbrio é atingida quando a duração da precipitação útil ultrapassa o tempo de concentração (CORREIA, 1984). A partir desse momento o caudal escoado na secção de saída da bacia é igual à intensidade da precipitação útil, podendo ser calculado pela seguinte expressão

$$Qp = \frac{Iu \cdot Ab \cdot K}{3.6} \quad \text{Eq. (9.0)}$$

sendo:

Iu - intensidade da precipitação útil (mm/h);

Ab - área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>);

K - factor de ponta da bacia hidrográfica.

O factor de ponta de uma bacia hidrográfica pode variar entre 1.0 e 0.5 para bacias muito declivosas e muito planas, respectivamente. Habitualmente considera-se um valor de 0.75.

### **2.4.3. Dimensionamento Hidráulico de valas de drenagem superficial**

A escolha da melhor secção geométrica e de suas dimensões deve ser feita pelo engenheiro projectista, em função da vazão a ser escoada sob uma declividade e rugosidade das paredes do canal. As soluções de dimensionamento da secção são inúmeras, ou seja, várias dimensões da secção geométrica oferecem solução da equação de Manning. Entretanto, condições locais podem limitar alguma das dimensões do canal, como, por exemplo, a existência de rocha a pouca profundidade, ou do lençol freático (SANTOS, ALBUQUERQUE, & BARREIROS, 2016).

Procura-se, no dimensionamento, obter de uma secção mínima (menor custo) que conduza a vazão necessária. De acordo com a equação de Manning, a vazão será máxima quando:

- Coeficiente de rugosidade “n” for mínimo (isto representa um revestimento mais liso e, conseqüentemente, maior custo);
- Maior área de escoamento “A” (maior volume de escavação, conseqüentemente, maior custo);
- Maior inclinação “i” (maior velocidade de escoamento, maior o potencial erosivo do escoamento);
- Maior o raio hidráulico “R” (maior a relação A/P, ou seja, menor o perímetro molhado).

Segundo SANTOS, ALBUQUERQUE, & BARREIROS, (2016) É importante salientar que, na prática, nem sempre é possível a execução de secção de mínima resistência. Em algumas situações, a profundidade calculada pode ser inadequada para o local, devido por exemplo, à presença de impedimentos locais (rochas, lençol freático, etc.) e, também, valores de velocidade de escoamento podem ser incompatíveis com o material de revestimento a ser utilizado.

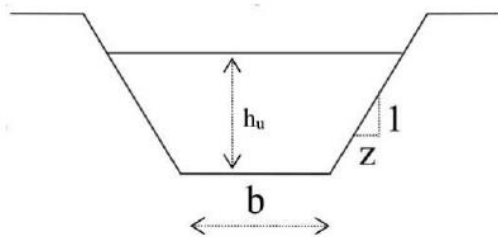
Secções econômicas são aquelas que apresentam o menor perímetro molhado. Para um mesmo valor de área “A”, o círculo é o de menor perímetro, dentre as figuras geométricas. Entretanto, a sua construção, na prática é difícil e onerosa, excepto quando se utilizam tubulações pré-

fabricadas, como é o caso de galerias de águas pluviais e de esgoto (SANTOS, ALBUQUERQUE, & BARREIROS, 2016).

### 2.4.3.1. Secções de mínima resistência (mínimo custo)

As secções de menor perímetro molhado (menor resistência) são a semi-circunferência, um semi-hexágono regular no caso de secções trapezoidais e, para secções retangulares, a secção em que a base é igual a duas vezes a altura. Serão vistas a seguir, as equações para secções econômicas mais usuais (SANTOS, ALBUQUERQUE, & BARREIROS, 2016).

#### ➤ Secção trapezoidal

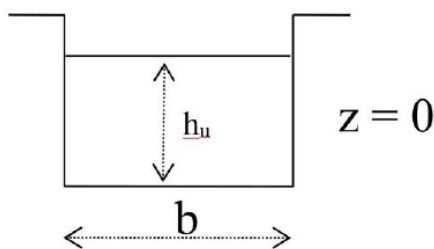


$$A = h_u^2(2\sqrt{z^2 + 1} - z) \quad \text{Eq. (10.0)}$$

$$P = 2h_u(2\sqrt{z^2 + 1} - z) \quad \text{Eq. (11.0)}$$

$$b = 2h_u(\sqrt{z^2 + 1} - z) \quad \text{Eq. (12.0)}$$

#### ➤ Secção rectangular

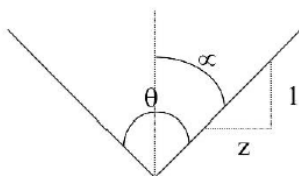


$$A = 2h_u^2 \quad \text{Eq. (13.0)}$$

$$P = 4h_u \quad \text{Eq. (14.0)}$$

$$b = 2h_u \quad \text{Eq. (15.0)}$$

#### ➤ Secção triangular



$$z = 1 \quad \text{Eq. (16.0)}$$

$$P = 2\sqrt{2}h_u \quad \text{Eq. (17.0)}$$

$$A = 2h_u^2 \quad \text{Eq. (18.0)}$$

O dimensionamento hidráulico de valas de drenagem superficial deve ter em atenção a necessidade de minimizar os custos globais do sistema incluindo custos do primeiro investimento e custo de exploração. Essa minimização deve ser conseguida através de uma combinação criteriosa das dimensões e da forma da secção transversal da vala (fundo e bermas) e ainda do tipo de material a utilizar, observando-se as seguintes condições: (BOLETIM DA REPÚBLICA Decreto n.º 30/2003, 1 de Julho de 2003)

➤ **Critério da limitação de velocidade**

O valor da velocidade máxima de escoamento para o caudal de ponta de projecto não deve exceder 3 m/s, em regra geral.

➤ **A altura máxima**

A altura máxima da lâmina líquida não deve exceder, por razões de segurança, 80% de altura útil da vala.

➤ **A inclinação longitudinal das valas**

A inclinação longitudinal das valas deve ser superior a 0.5%.

### **3. METODOLOGIA**

Para a realização do trabalho, foram usados diversos métodos e técnicas cuja escolha deve-se à natureza, características e objectivos do próprio estudo. “Metodologia é o caminho a ser percorrido na pesquisa” (PRODANOV & FREITAS, 2013). Nesta etapa, também conhecida como procedimentos metodológicos, o pesquisador, após ter caracterizado o problema, elaborado os objectivos e definido o quadro teórico, delineou os procedimentos (métodos) e as técnicas (materiais) a que foram seguidos na pesquisa.

#### **3.1. Caracterização da Pesquisa**

##### **3.1.1. Quanto a natureza**

Quanto a sua natureza a presente pesquisa é aplicada pois, segundo PRODANOV & FREITAS (2013) tem como objectivo gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.

##### **3.1.2. Do ponto de vista de objectivos**

Do ponto de vista de objectivos, porque a pesquisa pretende por meio de análises, e da interpretação de fenómenos observados explicar os porquês e as causas do fenómeno, a pesquisa é explicativa segundo (GIL, 2008.). Esse tipo de pesquisa visa identificar os factores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenómenos; “aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, o porquê das coisas.

##### **3.1.3. Do ponto de vista de procedimentos técnicos**

Sobre o ponto de vista de procedimentos técnicos a presente pesquisa é bibliográfica, porque recorreu-se a informação do material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico e internet, com o objectivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa segundo defende (MARCONI & LAKATOS, 2003).

#### **3.1.4. O ponto de vista da forma de abordagem do problema**

Quanto a abordagem a presente pesquisa é quantitativa, por lhe dar com dados mensuráveis, isto é, traduz em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. recorre ao uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão) (PRODANOV & FREITAS, 2013).

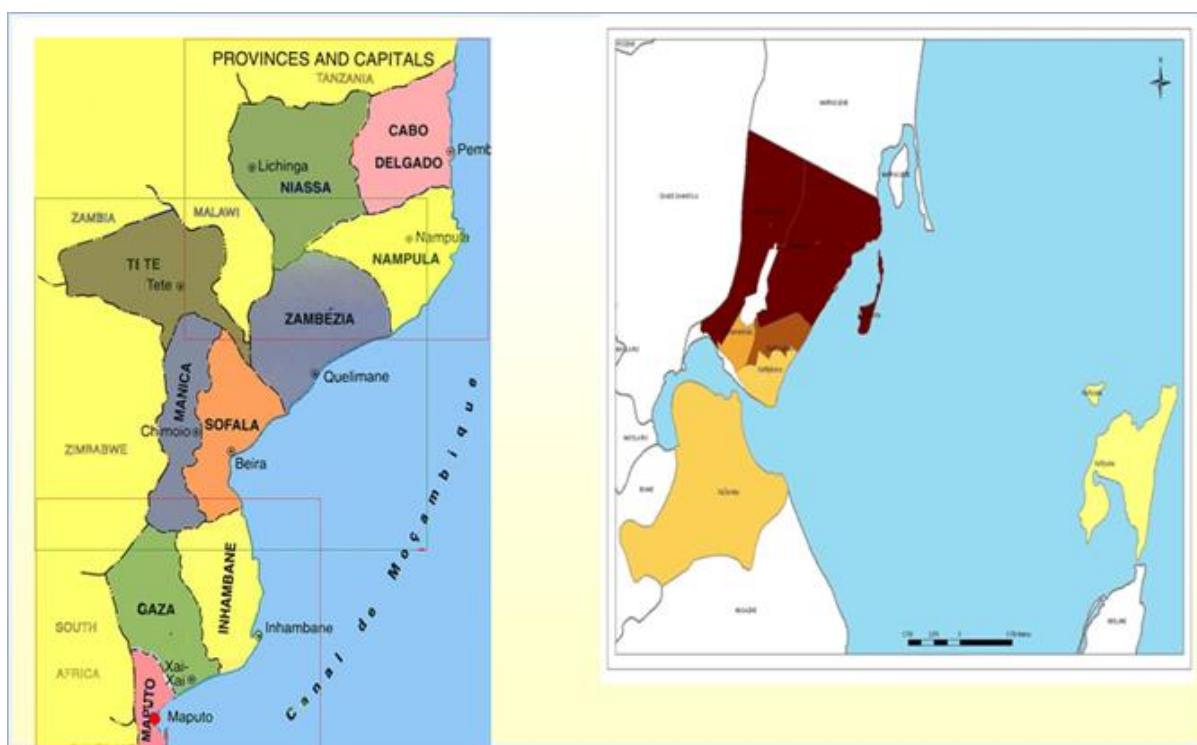
#### **3.1.5. Técnicas de Recolha de Dados**

Quanto às técnicas de recolha de dados a pesquisa usou a observação e a recolha da informação junto ao Conselho Municipal, com efeito e para a presente pesquisa usou-se a observação directa ou activa, porque permitiu que a autor tivesse oportunidade de assistir à implementação do projecto de construção das valas de drenagem.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. Enquadramento geográfico

A Cidade de Maputo situa-se a 120 km da fronteira com a África do Sul e a 80 km da fronteira com a Suazilândia. A capital de Moçambique localiza-se a oeste da Baía de Maputo onde desagüam os rios Tembe, Umbeluzi, Matola e Infulene, a uma altitude média de 47 metros e os seus limites correspondem às latitudes 25° 49' 09" S (extremo norte) e 26° 05' 23" S (extremo sul) e às longitudes 33° 00' 00" E (extremo leste -considerada a ilha de Inhaca) e 32° 26' 15" E (extremo oeste). A norte, a Cidade de Maputo faz fronteira com o distrito de Marracuene, a Noroeste e Oeste com o Município da Matola, a Oeste com o distrito de Boane, e a Sul com o distrito de Matutuíne, todos pertencentes à província de Maputo (CUMBANE, 2015).



**Figura 5:** Localização geográfica do Município de Maputo, Fonte: Conselho Municipal da Cidade de Maputo.

Segundo o PLANO DIRETOR (2019) do ponto de vista administrativo, a Cidade de Maputo é estruturada em sete (07) Distritos Municipais, abrangendo sessenta e quatro (64) bairros com limites bem definidos. O Distrito Municipal Kampfumo, na designada “Cidade de Cimento”, constitui a parte urbanizada da cidade. A cidade de Maputo tem também um estatuto de Província. Entretanto, algumas das suas responsabilidades mantêm-se ainda sob tutela do

Governo Central, embora se verificasse alguma passagem gradual de Gestão no que concerne a Saúde e a Educação (Política, Justiça).

#### 4.2.Clima (precipitação, temperatura e humidade)

Maputo situa-se numa zona tropical chuvosa, com duas estações predominantes: um quente e chuvosa entre Outubro a Março e outra mais fria e mais seca, entre Abril a Setembro.

**Tabela 4.1:** Valores normais dos parâmetros em temperaturas médias mensais, em milímetros (mm), da precipitação para a área da Cidade de Maputo (1986-2015).

Parâmetro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abri	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
T.med	26.1	26.4	25.8	23.9	22.2	20.1	25.4	20.6	22.0	22.7	24.1	25.4
T.xabs	36.3	35.3	36.3	35.0	33.8	31.7	31.9	34.4	36.8	36.9	37.3	37.5
T.nabs	19.0	19.3	18.3	15.7	13.4	11.2	11.0	11.3	13.2	14.1	15.8	17.4
Precipitação	141.5	105.1	94.2	49.7	21.0	15.3	13.4	14.9	24.7	56.1	92.9	128.7
Hmed	78	78	78	78	76	73	74	74	76	78	78	79

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INAM).

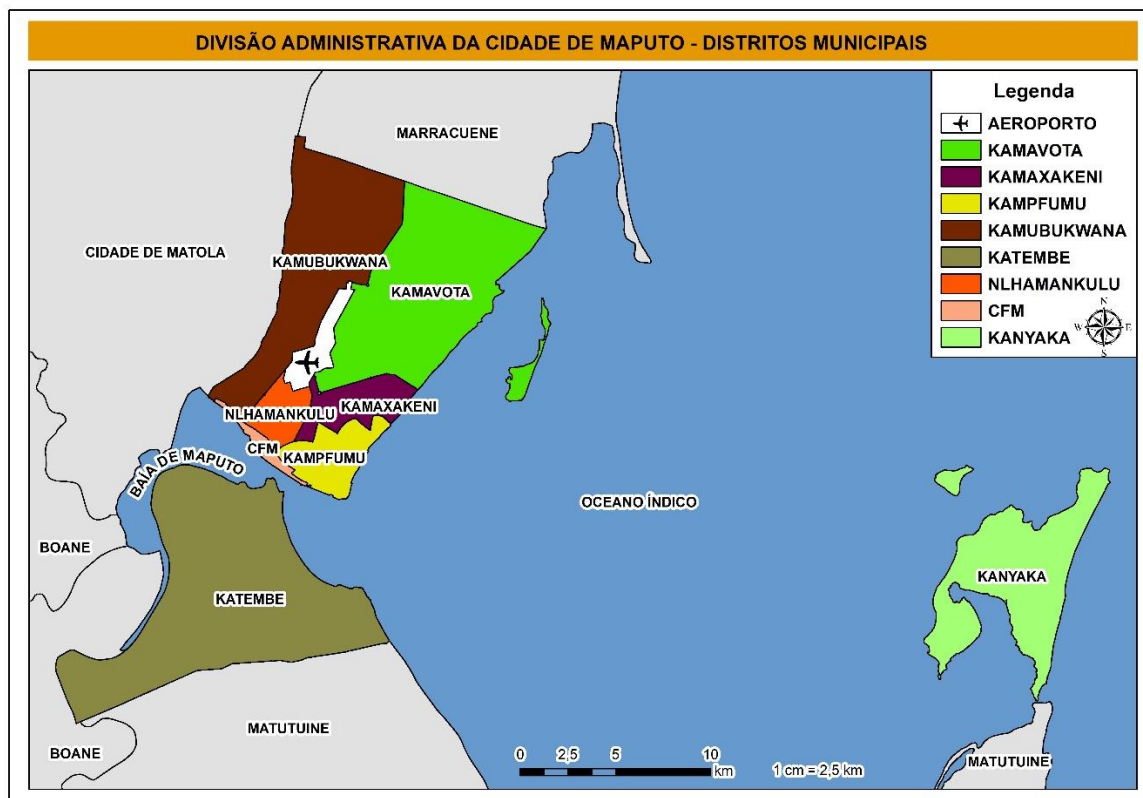
#### Legenda:

- Tmed – Temperatura média mensal normal (em °C)
- Txabs – Temperatura máxima absoluta mensal normal (em °C)
- Tnabs- Temperatura mínima absoluta mensal normal (em °C)
- Prec-Precipitação média mensal normal (das 9h às 9h, em mm/ 24h)
- Hmed – Humidade relativa média mensal normal (em %)

Devido ao clima tropical a humidade média do ar varia entre 73% no período frio (Junho) e 79% no período quente (a partir do mês de Setembro a Fevereiro). Na maior parte do tempo, o vento sopra do interior, no sentido do oriente para Sudeste. A ocorrência de ciclones provenientes do Canal de Moçambique é rara no Sul do país; no entanto, estes quando ocorrem, criam grandes perdas humanas e materiais na região, devido às grandes inundações e fortes ventos (PLANO DIRETOR, 2019).

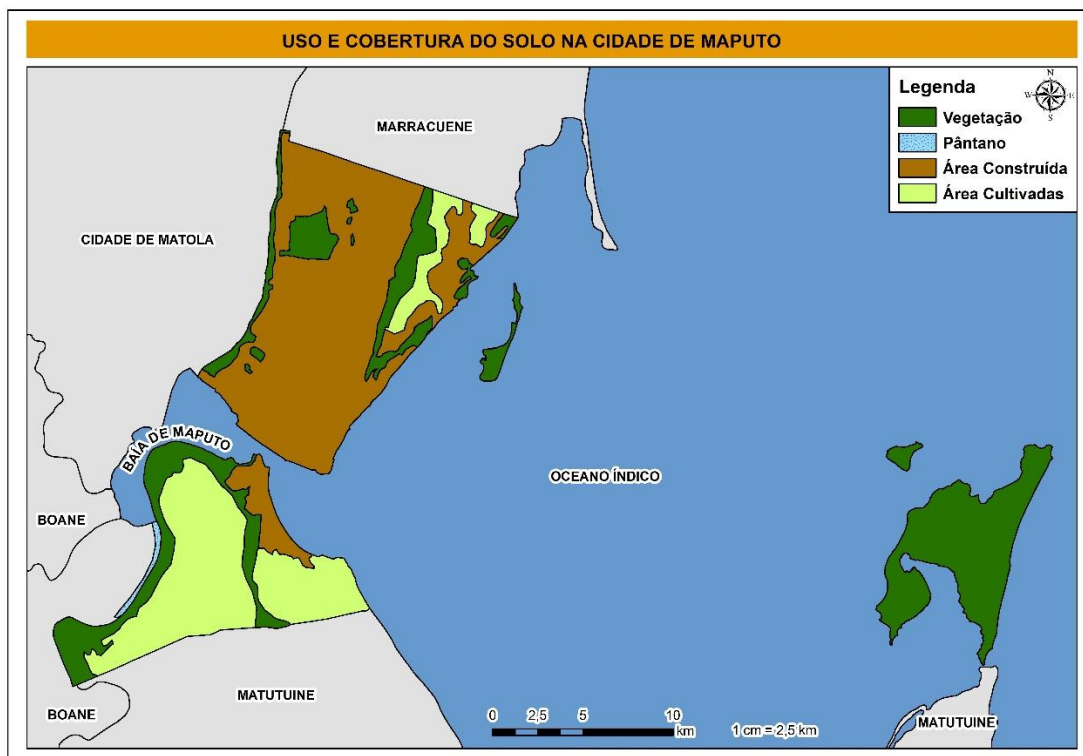
### 4.3. Descrição demográfica e urbana

A Cidade de Maputo está dividida em sete (07) Distritos Municipais (DM): cinco (05) no continente (Distritos Municipais KaMpfumo, Kahlamankulo, KaMaxakeni, KaMavota, KaMabukwane), um na Ka Tembe, no outro lado da baía de Maputo - e um na ilha de KaNyaka.



**Figura 6:** Divisão administrativa da Cidade de Maputo, Fonte: Atlas Escolar Municipal Da Cidade Maputo: de Pedro M. dos S. Neto e Sabil Mandala.

Tendo em conta o censo do ano 2007, Maputo tinha uma população de cerca de um milhão, cento e onze mil, seiscentos trinta e oito (1.111.638) habitantes. Destes, cerca de 51 % eram mulheres e 49 % homens. O resultado do cálculo estimado do número de habitantes para 2016 era de um milhão, duzentos cinquenta e sete mil, quatrocentos cinquenta e três (1.257.453) habitantes na base de um crescimento anual médio de 1.33 %. Em agosto de 2017 foi executado o quarto censo populacional de Moçambique (INE, 2017).



**Figura 7:** Uso de cobertura de solo na Cidade de Maputo, Fonte: Atlas Escolar Municipal Da Cidade Maputo: de Pedro M. dos S. Neto e Sabil Mandala.

#### 4.3.1. Limites do bairro de Minguene

A zona do Minguene situa-se na periferia da Cidade de Maputo, aproximadamente a 1.6 km de distância com a praia da Costa do Sol e 1.20 km com a rua Engenheiro Santos Resence, no bairro da Costa do Sol no Distrito ka Mavota, que está delimitado a Norte com o Distrito de Marracuene; a Sul com o Distrito Municipal KaMaxaquene a Oeste com o Aeroporto Internacional de Maputo e Distrito Urbano de KaMubukwana (CEURBE, 2017).

O Distrito é composto pelos Bairros: Mavalane A; Mavalane B; F.P.L.M; Hulene A; Hulene B; Ferroviário; Laulane; 3 de Fevereiro; Mahotas; Costa do Sol; Albazine; Ilha da Xefina do Meio e Ilha da Xefina Grande.



**Figura 8:** Localização geográfica da zona de Minguene. Fonte: Google Earth.



**Figura 9:** Residências de Minguene, Fonte: Autor

#### 4.3.2. Descrição do projecto

O sistema de drenagem construído para Minguene é constituído por três valas, nomeadamente: Vala 1, vala 2 e vala 3, sendo que, a vala 2 e 3 ligam a uma outra vala denominada vala de Maguiguana, com as respectivas características que se seguem:

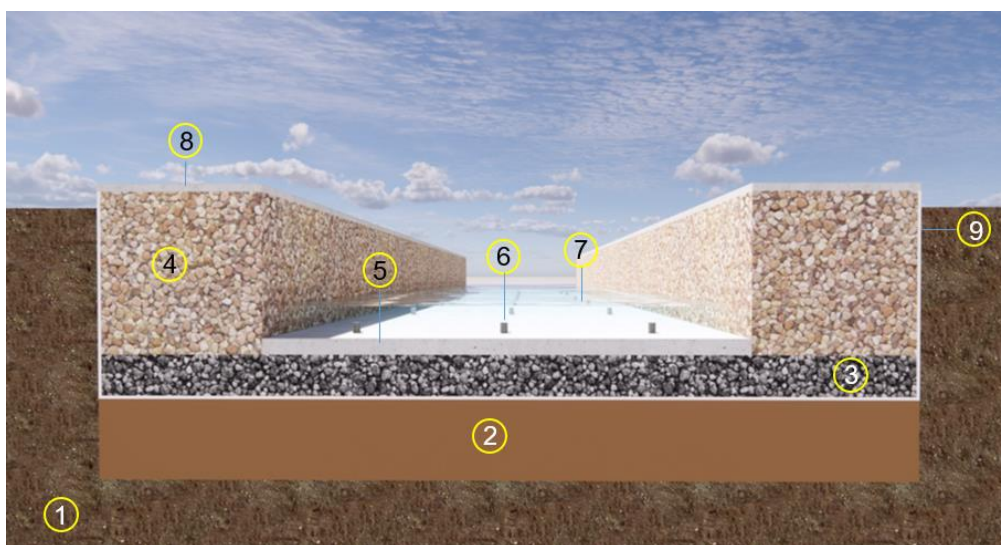
**Tabela 4.2:** Caracterização da secção das valas

Vala	Base (m)	Altura (m)	Comprimento (m)
1	3	1	870
2	3	1	340
3	1.5	1	325

### 4.3.3. Classificação das Valas de drenagem de Minguene

As valas classificam-se segundo:

- Material – Gabião
- Origem – Canal artificial
- Resistência à erosão – Canal não erodível
- Revestimento do fundo – Betão
- Geometria: Secção simples – Rectangular



**Figura 10:** Secção transversal da vala de Minguene, Fonte: Autor.

#### Legenda:

1-Solo residual

4-Muro da vala

7-Água pluvial

2-Solo compactado

5-Revestimento

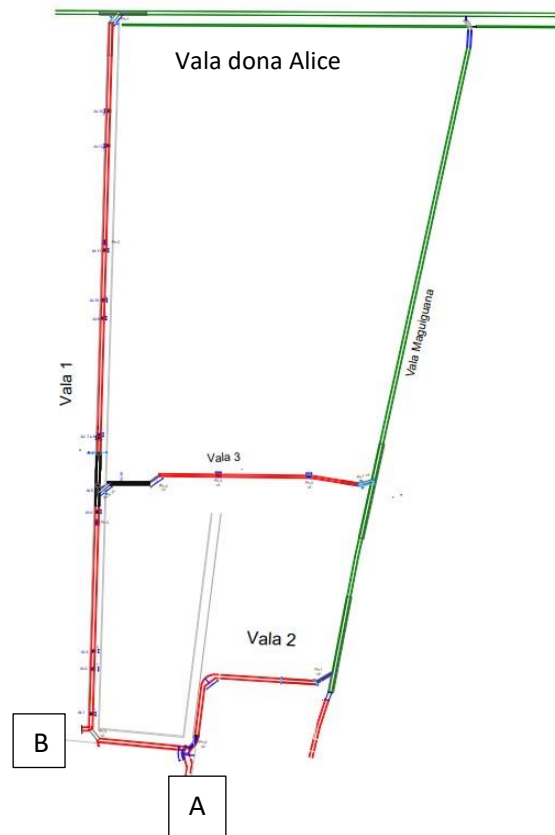
8-Revestimento

3-Colchão Reno

6-Tubo de respiração

9-Manta Geotêxtil

#### 4.3.4. Modo de funcionamento das valas de Minguene



**Figura 11:** Funcionalidade das valas, Fonte: DMIU.

O sistema encaminha todas águas pluviais até a vala da Avenida Cândido Mondlane (vala dona Alice) a partir da vala 1 e a vala Maguiguana.

A vala 2 é a responsável por receber as águas da zona de Minguene tendo como o sentido do fluxo A (montante) e dirigi-las a vala da Maguiguana, e esta as encaminha até a vala dona Alice (Jusante).

A vala 1 escoar águas pluviais provenientes de B e ao longo da sua extensão, reduzindo a contribuição do caudal que aflui na vala 2 evitando assim a sobrecarga da mesma.

A vala 3, além de escoar as águas do bairro, alivia o escoamento da vala 1 descarregando na vala de Maguiguana.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Período de retorno**

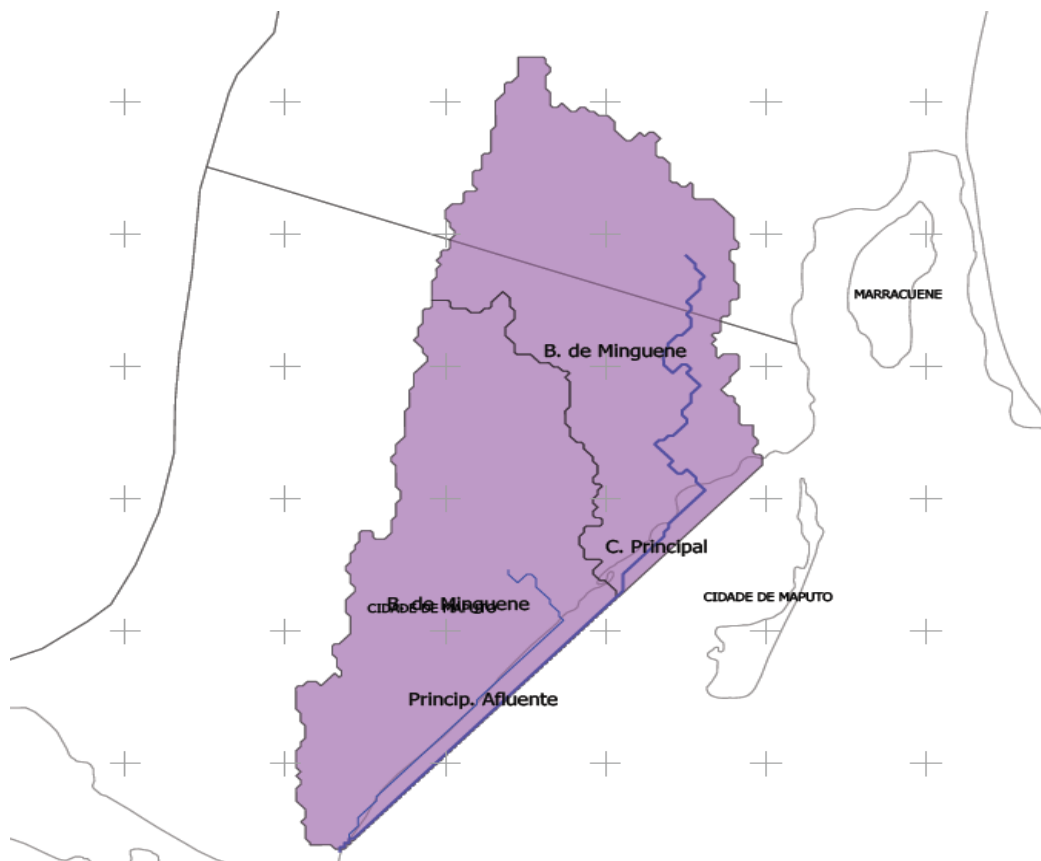
O período de retorno a considerar no dimensionamento hidráulico de uma rede de drenagem pluvial deve resultar da análise comparativa dos investimentos necessários à protecção contra inundações, para a precipitação de cálculo, e dos prejuízos que podem resultar quando esta é excedida. Na falta de elementos justificativos para a adopção de um dado período de retorno, estipula-se como princípio geral a adopção de um período de retorno de 5 anos, podendo este valor ser aumentado para 10, 20 ou 25 anos, em situações devidamente justificadas. (BOLETIM DA REPÚBLICA Decreto n.º 30/2003, 1 de Julho de 2003).

Segundo TOLEDO (2017) O período de retorno utilizado na microdrenagem varia de dois a dez anos, conforme definido. De uma forma geral, para a microdrenagem, recomenda-se a adoção de período de retorno de 2 anos (exceto no caso de aeroportos, quando o valor recomendado é de 5 anos). Para o cálculo da verificação da capacidade de vazão das valas de Minguene adoptou-se um período de retorno de 2 anos.

### **5.2. Cálculo da intensidade de precipitação**

#### **5.2.1. Delimitação da bacia hidrográfica onde Minguene está inserida**

Para o cálculo da intensidade de precipitação foi necessário delimitar a área da bacia em que o sistema de drenagem está inserido, assim como ilustra a imagem abaixo.



**Figura 12:** Bacia Hidrográfica onde Minguene está inserida; Fonte: Autor

Onde obteve-se os seguintes dados:

- Comprimento do curso principal de água na bacia (L): 21983.47 m
- Área da bacia hidrográfica (A): 106.90 Km<sup>2</sup>
- Diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal ( $\Delta H$ ): 6 m

Com base nos dados acima, determinou-se o tempo de concentração com a fórmula de Temez (1978), pois essa forma permite determinar o tempo de concentração para bacias com uma área de drenagem até 3000 km<sup>2</sup>, que é o caso da bacia hidrográfica em estudo determinada, que possui uma área de 106.90 km<sup>2</sup>.

Para o cálculo da intensidade de precipitação recorreu-se aos parâmetros a e b das curvas IDF para Maputo, para um período de retorno de 2 anos obteve-se os seguintes parâmetros:

- a = 534.05
- b = -0.6075

$$I = a \cdot t^b$$

Temez (1978)

$$tc = 0.3 \left( \frac{L_b}{i_m^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Tabela 5.1: Cálculo da intensidade de precipitação

bacia	A (Km <sup>2</sup> )	ΔH (m)	L(Km)	tc (h)	I (mm/h)	i(m/m)
Dados	106.90	6.0	21.98	14.67	8.60	0.0003

### 5.3.Verificação da capacidade da secção de vazão das valas de Minguene

#### 5.3.1. Cálculo do caudal

Para determinação do caudal do projecto foi necessário antes delimitar as zonas com caudais que tem influência directa no sistema de drenagem construído para Minguene, essas delimitações foram feitas tendo em conta a disposição das curvas de níveis, assim como ilustra a figura 14. Com base na fórmula do SCS para pequenas bacias naturais e urbanas, determinou-se o caudal na bacia.



Figura 13: Delimitação das zonas com caudais com influência na vala de Minguene; Fonte: Google Earth.

**Tabela 5.2:** Delimitação das áreas com caudais influentes no sistema de drenagem de Minguene

A1	794 686 m <sup>2</sup>
A2	268 893 m <sup>2</sup>
A3	314 334 m <sup>2</sup>
A4	491 173 m <sup>2</sup>

$$Qp = \frac{Iu \cdot Ab \cdot K}{3.6}$$

**Dados:**

K= 0.75

**Tabela 5.3:** Cálculo do caudal da bacia hidrográfica onde está inserida Minguene

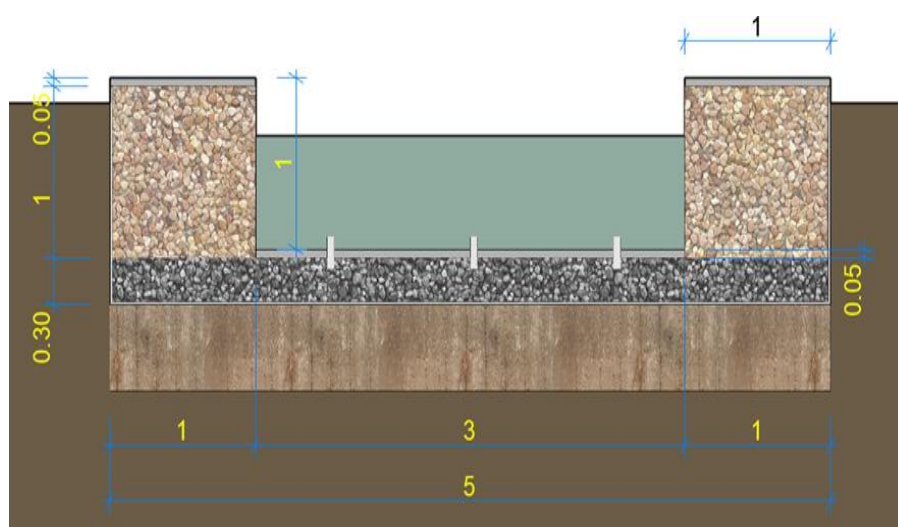
bacia	A (Km <sup>2</sup> )	ΔH (m)	L(Km)	tc (h)	I (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	i(m/m)
<b>Dados</b>	106.90	6.0	21.98	14.67	8.60	191.53	0.0003

**Tabela 5.4:** Determinação dos caudais que tem influência sobre a vala de Minguene

Área	Área de ocupação na bacia (%)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1	0.74	1.42
2	0.25	0.48
3	0.30	0.57
4	0.46	0.88
<b>Total</b>		<b>3.35</b>

### 5.3.2. Verificação da capacidade de vazão das valas

- **Secção rectangular**



**Figura 14:** Representação da vala de Minguene; Fonte: Autor



**Figura 15:** Secção transversal da vala de Minguene em construção; Fonte: Autor

**Dados:**

- Muro de Gabião:  $K_s = 0.030$
- Revestimento do fundo – Betão:  $K_s = 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Coeficiente de Manning-Strickler para canais com fundo revestidos de betão e lados de cascalho seco ou empedrado:  $K_s = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (Fonte: Tabelas Hidráulicas A. Lencastre, anexo 1)
- Área molhada:  $A = 3hu$
- Perímetro molhado  $p = 2hu + 3$
- A base da vala de  $b = 3 \text{ m}$
- $R = \frac{Am}{Pm}$
- Caudal:  $Q_p = V \cdot S = K \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot S$
- $U = K_S \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$
- Inclinação:  $0.0008 \text{ m/m}$

**Tabela 5.5:** Verificação da capacidade da secção de vazão das valas

Canal	$i \text{ (m/m)}$	$hu \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$P \text{ (m)}$	$R$	$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	$V \text{ (m/s)}$
<b>Vala 1</b>	0.0008	0.8	2.4	4.6	0.52	2.19	0.92
<b>Vala 2</b>	0.0008	0.8	2.4	4.6	0.52	2.19	0.92
<b>Vala 3</b>	0.010	0.8	1.2	2.8	0.43	1.93	2.85
<b>Vala Magui.</b>	0.0008	0.8	2.4	4.6	0.52	2.19	0.92

A secção das valas construídas em Minguene apresentam secção suficiente para receber a quantidade de água prevista para aquela área, porém estas não possuem capacidade suficiente para escoar estes caudais afluentes na vala, porque não verificam ao mínimo das inclinações recomendadas pelo artigo 110 do Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais do Decreto nº 30/2003, que refere na alínea c) que: A inclinação das valas não deve ser inferior a 0.5% sendo neste sistema de 0.08%. Tendo como algumas das consequências a incapacidade da autolimpeza da vala devido a baixa velocidade de escoamento e também esta inclinação faz com que as valas funcionem como reservatório por não serem capaz de escoar às águas na sua totalidade, podendo verificar-se alguma quantidade de água nas valas mesmo em período de estiagem.

### 5.3.2.1. Verificação da capacidade de vazão com base na inclinação mínima de acordo com regulamento

- Inclinação mínima: 0.5%

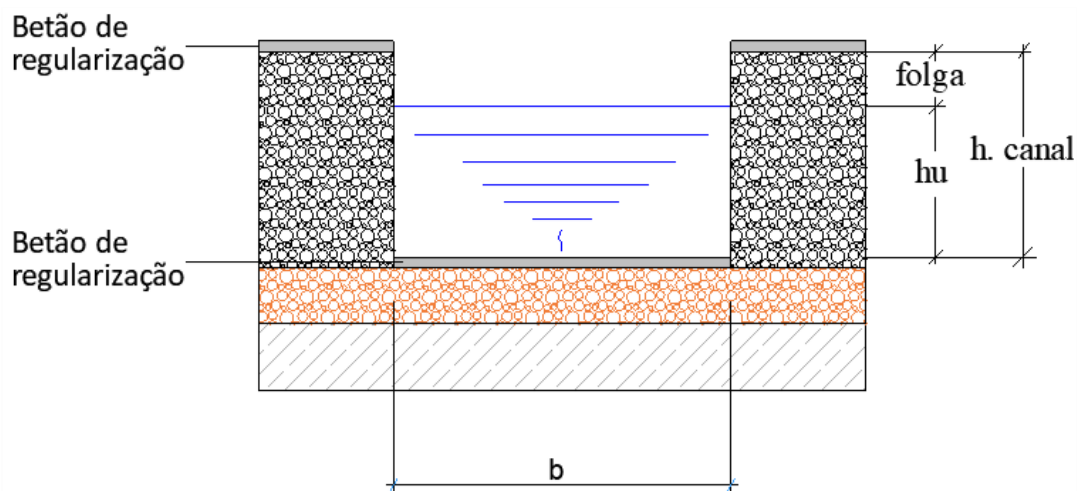
**Tabela 5.6:** Verificação da capacidade de vazão com base na inclinação mínima

Canal	i (m/m)	hu (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)
<b>Vala 1</b>	0.005	0.8	2.4	4.6	0.52	5.50	2.23
<b>Vala 2</b>	0.005	0.8	2.4	4.6	0.52	5.50	2.23
<b>Vala 3</b>	0.010	0.8	1.2	2.8	0.43	1.93	2.85
<b>Vala Magui.</b>	0.005	0.8	2.4	4.6	0.52	5.50	2.23

Com base no artigo 110 do Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, Decreto nº. 30/2003, alterando a inclinação do sistema de 0.08% por 0.5% que é o recomendado, a inclinação verifica e as velocidades estão dentro do limite proposto.

Com base nos valores obtidos a partir da inclinação mínima, o sistema aumenta a sua velocidade de escoamento e conseqüentemente a sua capacidade de vazão em dobro, isto é, para a mesma secção das valas de Minguene se tivesse sido aplicando a inclinação mínima recomendada, poderia se escoar 2 vezes a mais que caudal actualmente escoado.

## 5.4. Dimensionamento das valas com base no caudal médio calculado



**Figura 16:** Desenho do corte transversal tipo da vala de Minguene; Fonte: Autor

### 5.4.1. Condicionando a base da vala

#### Dados:

- Segundo SANTOS, ALBUQUERQUE, & BARREIROS, (2016) O caudal de infiltração  $Q_{inf}$  pode ter um peso não negligenciável no valor do caudal médio, principalmente em zonas onde o nível freático é elevado, como orientação geral (AdP, 2003 b), indica-se no quadro abaixo a percentagem do caudal médio diário recomendado para estimativa do caudal de infiltração a considerar no dimensionamento dos sistemas de drenagem.

**Tabela 5.7:** Valores recomendados para caudal de infiltração, Fonte: SANTOS, (2016).

Rede de drenagem	Terrenos arenosos		Terrenos rochosos	
	Litoral	Interior	Litoral	Interior
(% caudal médio)				
A construir	30	20	20	10
Recente	40	30	30	20
Antiga	50	40	40	30

**Tabela 5.8:** Caudal de dimensionamento

Canal	Q. médio (m <sup>3</sup> /s)	Q. freático (40%Qmed) (m <sup>3</sup> /s)	Q. total (m <sup>3</sup> /s)
<b>Vala 1</b>	2.19	0.88	3.07
<b>Vala Magui.</b>	1.17	0.47	1.64

- Coeficiente de Manning-Strickler para canais com fundo revestidos de betão e lados de cascalho seco ou empedrado:  $K_s = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (Fonte: Tabelas Hidráulicas A. Lencastre, anexo 1)
- Área molhada:  $A = 3hu$
- Perímetro molhado  $p = 2hu + 3$
- A base da vala de  $b = 3 \text{ m}$
- $R = \frac{Am}{Pm}$
- Caudal:  $Q_p = V \cdot S = K \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot S$
- $U = K_G \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$
- Inclinação: 0.005 m/m
- Pelo método iterativo:  $\frac{Q_p}{K_s \cdot i^{\frac{1}{2}}} = R^{\frac{2}{3}} \cdot S$

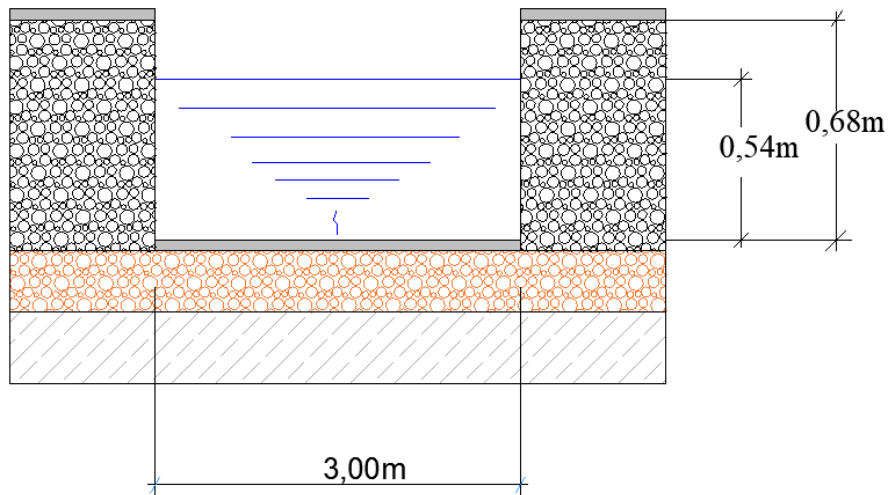
**Tabela 5.9:** Dimensionamento da vala com base  $b=3\text{m}$ 

Canal	hu (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	i (m/m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R	v(m/s)
<b>Vala 1</b>	0.537	3.07	0.005	1.611	4.074	0.395	1.90
<b>Vala Magui.</b>	0.355	1.64	0.005	1.066	3.710	0.287	1.54

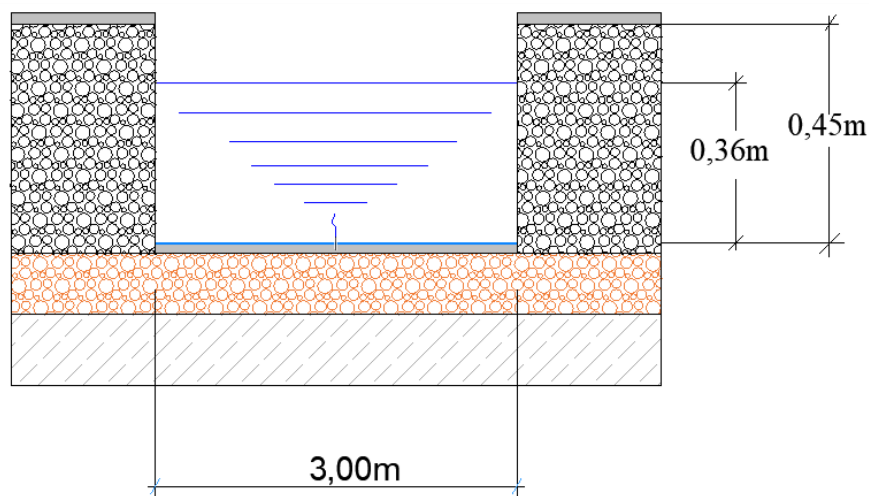
Aplicando os aspectos regulamentares para a concepção das valas de drenagem recomendado pelo BOLETIM DA REPÚBLICA Decreto n.º 30/2003, (*Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*), e condicionando a base da vala para 3 m (valor da base do sistema implantado na vala de Minguene) a altura uniforme do sistema reduziria aproximadamente 30% na vala 1 e 56% na vala da Maguiguana comparativamente a altura uniforme que a vala possui que é de 80 cm, para um canal de 1 m de altura. O que certamente reduziria o custo de concepção das valas e ao mesmo tempo

melhoraria o funcionamento da vala de drenagem por esta verificar a todos aspectos regulamentar.

#### 5.4.1.1. Perfis transversais das secções das valas



**Figura 17:** Corte transversal da vala 1; Fonte: Autor



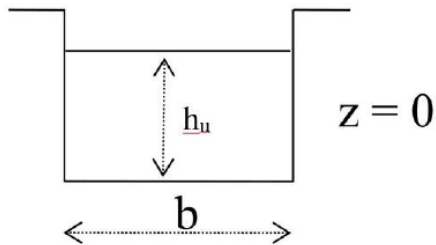
**Figura 18:** Corte transversal da vala da Maguiguana; Fonte: Autor

#### 5.4.2. Dimensionamento da vala com a secção rectangular de máxima eficiência hidráulica

A melhor solução (menor custo) será, então, aquela que apresentar o menor perímetro molhado, pois, nesta situação, a resistência ao escoamento é mínima, e a secção é conhecida como secção

económica ou de máxima eficiência, pois, para determinadas área, rugosidade e declividade, a vazão é máxima.

- Para uma secção rectangular óptima



$$A = 2h_u^2$$

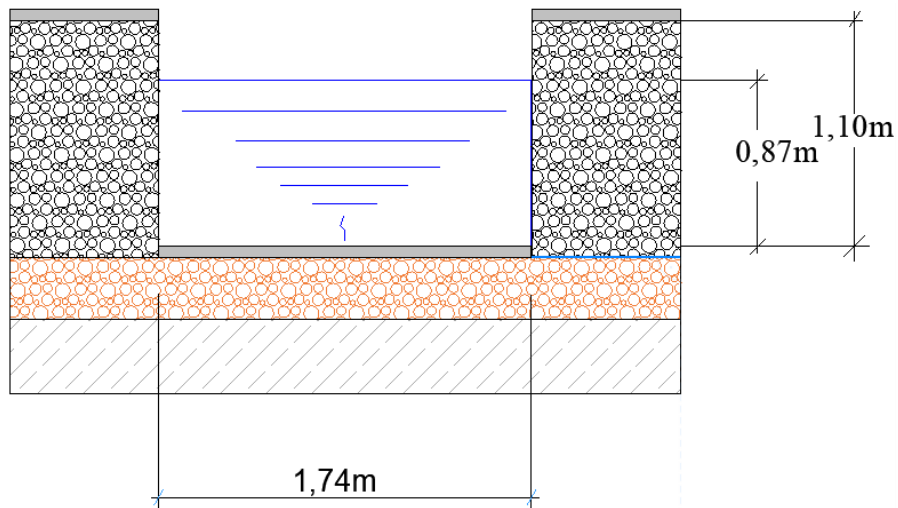
$$P = 4h_u$$

$$b = 2h_u$$

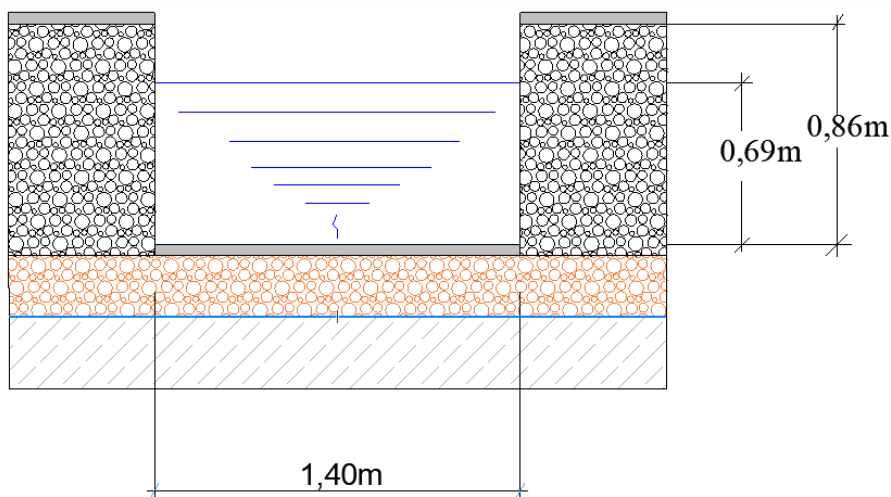
**Tabela 5.10:** Cálculo da secção rectangular óptima

Canal	h <sub>u</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	i (m/m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	b (m)	R	v(m/s)
Vala 1	0.8697	3.07	0.005	1.5128	3.4788	1.7394	0.4349	2.03
Vala Magui.	0.6875	1.64	0.005	0.9453	2.75	1.3750	0.3438	1.73

#### 5.4.2.1. Perfis transversais das secções das valas dimensionadas



**Figura 19:** Corte transversal da vala 1; Fonte: Autor



**Figura 20:** Corte transversal da vala da Maguiguana; Fonte: Autor

Recorrendo ao critério da secção rectangular de máxima eficiência, ou seja, aquela que é a mais económica para o dimensionamento da vala, nota-se através dos valores obtidos pelos cálculos, uma redução de aproximadamente de  $0.9 \text{ m}^2$  de área molhada da vala, isto é, comparativamente a área molhada da secção construída que é de  $2.4 \text{ m}^2$  e  $1.5 \text{ m}^2$  da secção rectangular de máxima eficiência observando a todos critérios regulamentares do BOLETIM DA REPÚBLICA Decreto n.º 30/2003 (*Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*). O que percentualmente seria equivalente a uma redução de 37% da secção da vala.

Com base nesses valores é possível concluir que, se tivesse sido aplicando criteriosamente os processos e os aspectos regulamentares poderia ter-se reduzido o custo da obra, e melhorado o funcionamento da vala, devido a redução da secção que consequentemente reduziria a quantidade de materiais empregues na construção e também a capacidade de vazão das valas por verificar a todos critérios regulamentares para o seu dimensionamento.

## 6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 6.1. Conclusão

Com base no estudo feito nas valas construídas para drenagem das águas no bairro de Minguene, foi possível concluir que:

- As valas de Minguene estão inseridas numa bacia Hidrográfica com uma área de 106.9 km<sup>2</sup>, onde aproximadamente cerca de 1.86 Km<sup>2</sup> de área tem caudais com influência directa no sistema de drenagem construído;
- Bairro de Minguene apresenta cotas de terreno muito baixas relativamente ao nível médio das águas do mar (Apêndice fig.24), tendo como consequência um elevado nível freático, tornando desta forma os solos pouco permeáveis o que provoca a ocorrência de escoamento e de forma rápida inundações;
- A irregularidade das cotas em alguns pontos da zona em estudo, tornam difíceis o escoamento das águas, pois em certos pontos as águas do montante não conseguem vencer as cotas relativamente altas para chegada das mesmas a jusante (Apêndice fig.24);
- Os caudais que afluem no sistema de drenagem de Minguene são aproximadamente cerca de 4.71 m<sup>3</sup>/s dos quais 3.35 m<sup>3</sup>/s são pluviais e o remanescente advém do lençol freático.
- As valas de Minguene têm a capacidade de escoar um caudal de 8.5 m<sup>3</sup>/s, segundo a secção da vala adoptada, isto é, as valas construídas têm capacidade para receber a demanda das águas que afluem ao sistema;
- Apesar da secção da vala ser suficientemente capaz de responder a demanda, a vala de drenagem não verifica a alguns aspectos regulamentares como é o caso da inclinação a adoptar segundo o BOLETIM DA REPÚBLICA Decreto n.º 30/2003, que referencia na alínea c) do artigo 110 que: A inclinação das valas não deve ser inferior a 0.5%, as valas de Minguene possuem uma inclinação longitudinal de 0.08% que esta abaixo do mínimo recomendado;
- Pelo facto de o sistema apresentar inclinações longitudinais abaixo do recomendado pelo BOLETIM DA REPÚBLICA Decreto n.º 30/2003, o escoamento das águas na vala é lento, fazendo com que as valas funcionem também como um reservatório;
- As baixas velocidades de escoamento impossibilitam a realização da autolimpeza nas valas, provocando desta forma o assoreamento no canal, o que pode consequentemente ser causador de uma degradação acelerada da infraestrutura;

- Se tivesse sido adoptado a inclinação mínima regulamentar para a secção existente, o sistema aumentaria sua capacidade de vazão mais de 2 vezes;
- Com base no caudal médio obtido, respeitando criteriosamente os aspectos regulamentares, a área molhada do sistema de drenagem reduziria 37%, possibilitando desta forma uma redução de custo e um melhor funcionamento do sistema.

Durante a época chuvosa 2022/2023 com enfoque no mês de fevereiro de 2023, o país e particularmente a Cidade de Maputo foi assolada pelas chuvas torrenciais, sendo este um bom momento para colocar a prova a eficiência do sistema construído, mas como as imagens que ilustradas nos apêndices (figuras 23) comprovaram os resultados obtidos neste estudo, que a vala devido a sua baixa inclinação funciona também como um reservatório. É possível notar através das imagens que as valas ficaram completamente cheias e não foram capazes de escoar o volume de água que nela afluíam.

## **6.2.Recomendações**

- Prolongamento da vala 2, pois alguns pontos de Minguene apresentam cotas baixas na montante relativamente a jusante, também segundo as curvas de nível e pelo que se constatou no terreno, há pontos com cotas baixas dentro do bairro onde uma parte das águas fica retida e não consegue vencer as elevações até a secção de saída.
- Limpeza de rotina nas valas, pois por essas apresentarem inclinações muito baixas já é um factor que provoca a colmatação de sólidos, a existência de vegetação ou resíduos poderá contribuir ainda mais para o lento escoamento das águas, e em casos extremos a roptura da estrutura;

## REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA

- BOLETIM DA REPÚBLICA Decreto n.º 30/2003, A. 1. (1 de Julho de 2003). *Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição, Disposições técnicas da distribuição pública de água*. Maputo: Decreto n.º 30/2003:, IMPRENSA NACIONAL DE MOÇAMBIQUE.
- BORGHETTI, N. R., BORGHETTI, J. R., & ROSA FILHO, E. (2004). *Aquífero Guaraní: a verdadeira integração dos países do Mercosul*. Curitiba: Os autores.
- CARVALHO, D. F., & SILVA, L. D. (2006). *Apostila de Hidrologia*. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>>: Acesso em: 06 abr. 2017.
- CHOW, V. T. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- CORREIA, F. N. (1984). *Alguns procedimentos adoptados pelo Soil Conservation Service para o estudo do impacto da Urbanização nos Caudais de Cheia*. Lisboa, Portugal: LNEC.
- CUMBANE, R. N. (2015). *Análise do Risco de Incêndios Urbanos no Município de Maputo em Moçambique*. Lisboa: Instituto de Geografia e Ordenamento do Território.
- DA PAZ, A. R. (2004). *HIDROLOGIA APLICADA*. Rio Grande do: Universidade Estadual do Rio Grande do.
- DOS SANTOS, A. R. (2014). *A ÁGUA NA NATUREZA E O CICLO HIDROLÓGICO*. SPÍRITO SANTO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO-UFES.
- FRAGOSO Jr, C. R., & DAS NEVES, M. G. (2010). *Hidrologia Estática*. CTEC-UFAL.
- FREITAS, R. D. (2018). *DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM TRADICIONAL E SISTEMA COM A UTILIZAÇÃO DE MICRORESERVATÓRIOS*. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação de Minas Gerais.
- GIL, A. C. (2008.). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. São Paulo: 6. ed. Atlas.
- INE. (2017). *Projeções Anuais da População por Província e Área de Residência 1997-2010*. Maputo: Editor Instituto Nacional de Estatística, Direcção de Estatísticas Demográficas.
- LENCASTRE, A. e. (1992). *Lições de Hidrologia*. Lisboa, Portugal.: 2ª Edição revista. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- MARCONI, M. d., & LAKATOS, E. M. (2003). *Fundamentos de Metodologia Científica*. SÃO PAULO: EDITORA ATLAS S.A.
- MARQUES, A. S. (2013). *Hidrologia Urbana - Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- MARTINS, F. J. (2000). *DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE PASSAGENS INFERIORES RODOVIÁRIAS PARA ÁGUAS PLUVIAIS*. Coimbra: UNIVERSIDADE DE COIMBRA.

- MÉLIO, A., & GARCIA, J. (2007). *HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- MELO, M. J. (2007). *Medidas estruturais e não-estruturais de controle de escoamento superficial aplicáveis na Bacia do Rio Fragoso na cidade de Olinda*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco.
- MENDES, A. T. (2019). *DISPOSITIVOS DE DRENAGEM URBANA DE BAIXO IMPACTO PARA DIMINUIÇÃO DA VAZÃO NO SISTEMA DE MICRODRENAGEM DA BACIA URBANA DO CÓRREGO BREJO COMPRIDO, PALMAS – TO*. Palmas: UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.
- MILDÕES, C. (2010). *Água Subterrânea conhecer para proteger e preservar*. porto: Grafitime.
- MONTEBELLER, C. A., CARVALHO, D. F., & SOBRINHO, A. (2001). *Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular*. Campina Grande-PB: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.
- MOTA, A. D. (2012). *Tempo de concentração em pequena bacia experimental*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- NUNES, A. P., & CARARA, L. L. (2017). *CADASTRO DAS INFRAESTRUTURAS QUE COMPOEM O SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL*. Tubarão: UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA.
- OLIVEIRA, P. T. (1999). *Relações entre o crescimento urbano e as características da*. Rio de Janeiro: UFRJ.
- PDUL, P. d. (2020). *Guião Metodológico para Elaboração de Planos de Mitigação de Riscos: Drenagem, Enchentes e Erosão*. Moçambique : Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos Direcção Nacional de Urbanização e Habitação.
- PINTO, L. H., & PINHEIRO, S. A. (2006). *Orientações básicas para drenagem urbana*. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente.FEAM.
- PLANO DIRETOR, P. (2019). *Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de Maputo*. Maputo: Conselho Municipal da Cidade de Maputo.
- PNRRC. (2016). *GESTÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO*. Lisboa: AUTORIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL, PLATAFORMA NACIONAL PARA A REDUÇÃO DO RISCO DE CATÁSTROFES.
- PORTO, R. L., ZAHED, K., & SILVANA, M. (1999). *Escoamento Superficial*. São Paulo: Escola Politécnica da USP.
- PRODANOV, C. C. (2013). *Metodologia do trabalho científico métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico*. Rio Grande Sul: 2ª. Ed. Universidade de Feevale,.
- PRODANOV, C. C., & FREITAS, E. C. (2013). *Metodologia do trabalho científico Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico*. Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul - Brasil: 2ª edição.

- RIBEIRO, H., & VARGAS, H. C. (2019). *Urbanização, globalização e saúde*. São Paulo: Revista USP.
- SANTOS, M. T., ALBUQUERQUE, A., & BARREIROS, A. M. (2016). *TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS, OPERAÇÕES E PROCESSOS DE TRATAMENTO FÍSICO E QUÍMICO*. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e Universidade da Beira Interior.
- SCS, S. C. (1973). *A Method for Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watersheds*. Washington: U. S. Department of Agriculture.
- SILVA, & BATISTA, F. H. (2000). *Metodo de derminacao do escoamento Superficial das Bacias Hidrograficas a partir de levantamento pedologicos* . Rio de Janeiro: EMBRAPA, empresa brasileira de pesquisa Agropecuaria .
- TOLEDO. (2017). *MANUAL DE DRENAGEM URBANA*. Estado do Paraná: Secretaria do Planejamento Estratégico.
- TUCCI, C. (1999). *Inundações Urbanas*. Porto Alegre: ABRH/RHAMA.
- TUCCI, C. E. (2003). *Águas urbanas Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH.
- TUCCI, C. E., & CRUZ, M. A. (2000). *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Editora da Universidade.
- VAZ, Á. C. (2007). *MANUAL DA DISCIPLINA DE HIDROLOGIA*. Maputo: UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE, FACULDADE DE ENGENHARIA ,SECÇÃO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS.
- VAZ, A. C., & HIPOLITO, J. R. (2013). *HIDROLOGIA E RECURSOS HIDRICOS*. PORTO: IST PRESS.

# ANEXOS

Anexo 1. Valores do coeficiente de rugosidade, Fonte: Tabelas de Abacos, A. Lencastre.

*Tabelas e Ábacos*

87 — Valores do coeficiente de rugosidade,  $K_s$  ( $m^{1/3}/s$ )  
da fórmula de Strickler (cont.)

Tipo de canal e descrição	Máximo	Normal	Mínimo
<b>B. Canais revestidos ou pré-fabricados</b>			
<b>B.1. Metálicos</b>			
a. superfície de aço lisa			
1. não pintado	91	83	71
2. pintado	83	77	59
b. forjado	48	40	33
<b>B.2. Não metálicos</b>			
a. cimentado			
1. de superfície	100	91	77
2. argamassa	91	77	67
b. madeira			
1. aplanado, não tratado	100	83	71
2. aplanado, creosotado	91	83	67
3. não aplanado	91	77	67
4. tábuas de ripas	83	67	56
5. revestido com papel (com tefa)	100	71	59
c. betão			
1. rebocado à trolha	91	77	67
2. rebocado por escovas	77	67	63
3. rebocado, com fundo de cascalho	67	59	50
4. não rebocado	71	59	50
5. gunitado, secção regular	63	53	43
6. gunitado, secção ondulada	56	45	40
7. sobre uma rocha escavada regular	59	50	
8. sobre uma rocha escavada irregular	45	37	
d. canal com fundo revestido a betão com lados de			
1. pedra argamassada	67	59	50
2. pedra irregular argamassada	59	50	42
3. alvenaria de cascalho rebocado	63	50	42
4. alvenaria de cascalho não rebocado	50	40	33
5. cascalho seco ou empedrado	50	33	29
e. fundo de cascalho com lados de			
1. betão	59	50	40
2. pedra irregular argamassada	50	43	38
3. cascalho seco ou empedrado	43	30	28
f. tijolo			
1. vidrado	91	77	67
2. em argamassa	83	67	56
g. alvenaria			
1. cascalho cimentado	59	40	33
2. cascalho seco	43	31	29
h. cantaria revestida	77	67	59
i. asfalto			
1. liso	77	77	
2. rugoso	63	63	
j. revestimento vegetal	33	.....	2

## APÊNDICES



**Figura 21:** Zona de Minguene



**Figura 22:** Cenário da vala de Minguene em dias normais.



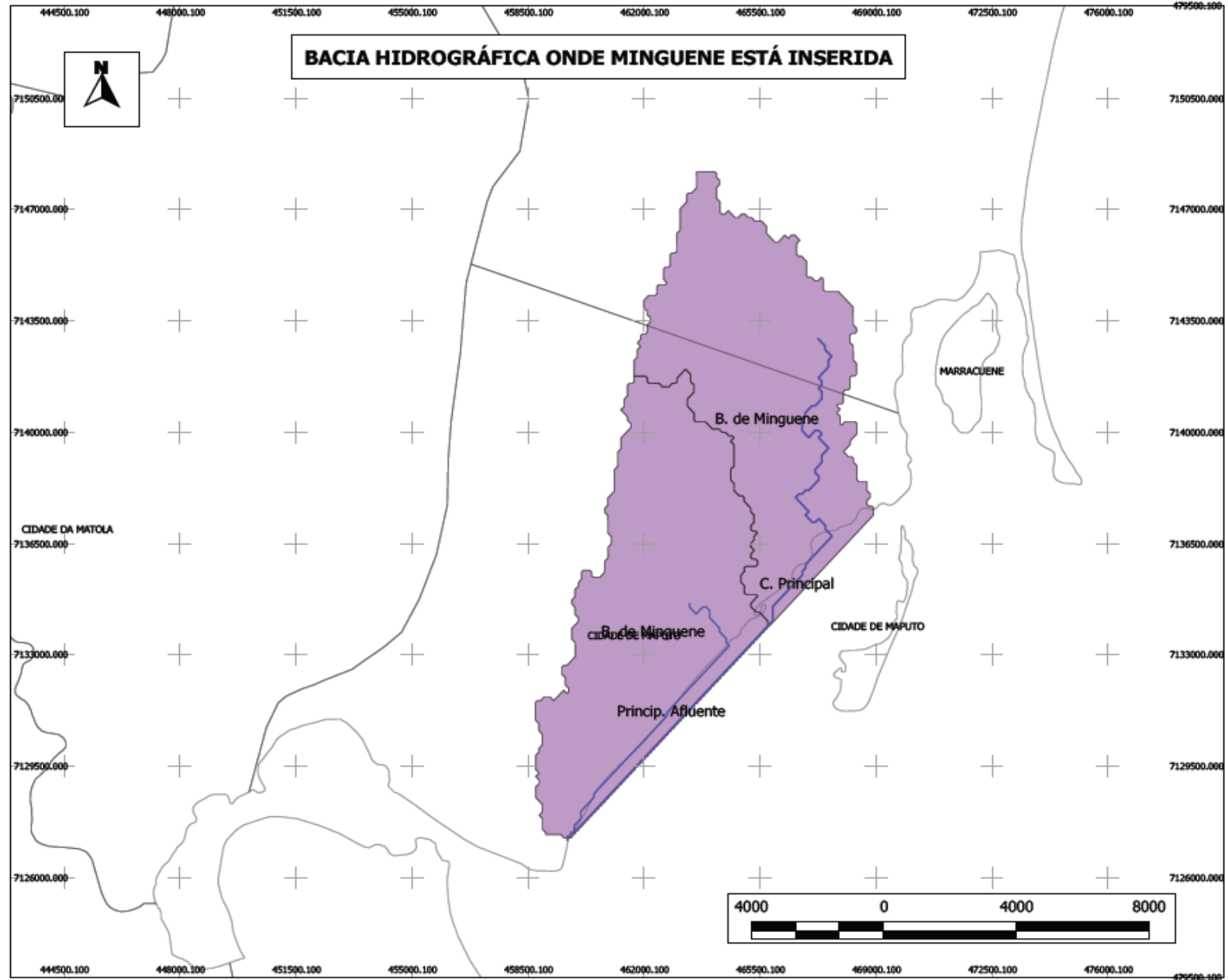


**Figura 23:** Valas de Minguene nas chuvas de 10/02/2023; Fonte: Autor



**Figura 24:** Curvas de nível da zona de Minguene; Fonte: Google Earth

# BACIA HIDROGRÁFICA ONDE MINGUENE ESTÁ INSERIDA



**Legenda**

- Curso PRINCIPAL
- PRINCIPALAFLUENTE
- subbacia Minguene
- Moz\_adm\_distritos\_250