



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
FACULDADE DE AGRICULTURA
CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

Redimensionamento do Sistema de Drenagem do primeiro bairro da cidade de Chókwè

Monografia Científica apresentada e defendida como requisito para a obtenção do grau de
Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Autor: Wilson Chipa Wilissone

Tutor: Fernando Brazão Tembe

Co-tutor: Mário Tauzene Afonso Matangue

Lionde, Maio de 2019



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia Científica de Redimensionamento do Sistema de Drenagem no primeiro Bairro da Cidade de Chókwè apresentado ao curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural

Tutor: Eng. Fernando Brazão Tembe (MSc)

Co-tutor: Eng. Mário Tauzene Afonso Matangue (PhD)

Chókwè, 2019

ÍNDICE

Declaração	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos:	1
1.1.1. Geral:	1
1.1.2. Específicos:	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Sistema de drenagem	3
2.1.1. Tipos de sistemas de drenagem	3
2.1.2. Finalidades do sistema de drenagem	4
2.2. Efeitos da urbanização na hidrologia das bacias hidrográficas	5
2.3. Impactos da drenagem pluvial urbana	6
2.3.1. Soluções alternativas de gestão do escoamento	7
2.3.2. Bacias de retenção	7
2.4. Desempenho do Sistema de drenagem	8
2.4.1. Vantagens de um sistema de drenagem eficiente	9
2.5. Configuração da rede de drenagem	9
2.6. Definição dos elementos de base	10
2.7. Parâmetros hidrológicos	10
2.7.1. Áreas de Contribuição	10
2.7.2. Precipitação do projecto	11
2.7.3. Caudal do projecto	12

2.8.	Componentes da rede hidráulica.....	14
2.8.1.	Elementos de captação e transporte.....	15
2.8.2.	Disposição dos componentes.....	17
2.9.	Dimensionamento hidráulico dos colectores	19
2.9.1.	Critérios e procedimentos de dimensionamento da rede de drenagem de águas pluviais	19
2.10.	Simulação do Sistema de drenagem.....	21
2.10.1.	SWMM (Storm Water Management Model)	21
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1.	. Descrição da área de estudo.....	23
3.2.	Caracterização do Sistema de Drenagem existente	24
3.2.1.	Recolha dos dados do sistema existente	24
3.3.	Análise da eficiência do sistema de drenagem existente	26
3.4.	Determinação dos parâmetros hidrológicos da área de estudo	26
3.4.1.	Áreas de contribuição	26
3.4.2.	Caudal do projecto.....	26
3.4.3.	Precipitação do projecto	26
3.4.4.	Intensidade de precipitação	27
3.5.	Dimensionamento dos componentes do sistema	28
3.5.1.	Dimensionamento dos colectores	28
i.	Critério da altura máxima da lâmina líquida	29
ii.	Critério de velocidade mínima.....	29
iii.	Critério de velocidade máxima	29
3.5.2.	Implantação dos colectores.....	30
3.5.3.	Cálculo das condições do escoamento.....	30
3.5.4.	Dimensionamento de sumidouros de guia.....	31
3.5.5.	Câmaras de visita.....	32

3.5.6.	Ramais de ligação.....	32
4.	RESULTADOS.....	33
4.1.	Caracterização do sistema de drenagem existente.....	33
4.1.1.	Mapeamento do sistema.....	33
4.2.	Eficiência do sistema de drenagem existente.....	34
4.3.	Determinação dos parâmetros hidrológicos da área de estudo.....	35
4.3.1.	Áreas de contribuição.....	35
4.3.2.	Precipitação do projecto.....	36
4.3.3.	Caudal do projecto.....	36
4.4.	Dimensionamento dos componentes do sistema de drenagem.....	37
4.4.1.	Traçado da rede de drenagem.....	37
4.5.	Diâmetros dos colectores.....	38
4.6.	Resultados da simulação do sistema dimensionado.....	38
4.6.1.	Instabilidade de fluxo.....	39
4.6.2.	Análise geral do sistema.....	39
5.	DISCUSSÃO.....	41
5.1.	Eficiência do sistema de drenagem existente.....	41
5.2.	Dimensionamento hidráulico.....	41
5.3.	Resultados da simulação.....	41
6.	CONCLUSÃO.....	42
7.	RECOMENDAÇÕES.....	43
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
9.	ANEXOS.....	47
9.1.	Relatório estatístico da simulação.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efeitos da urbanização sobre o escoamento superficial.....	6
Figura 2. Tipos de sumidouros. [Adaptado de SUDERHSA (2002)].	15
Figura 3. Alinhamento dos condutos. [Adaptado de SURDSHSA (2002)].	16
Figura 4. Rede colectora na via pública. [Adaptado de (FCTH, 1999)].	17
Figura 5. Corte transversal de câmara de visita.....	19
Figura 6. Estado de alguns sumidouros de guia 19h após a precipitação a) e b)	23
Figura 7. Delimitação da área em estudo.	24
Figura 8 e 9. Material usado para o levantamento das estruturas do sistema existente.	25
Figura 9. Obstrução dos sumidouros por lixo	25
Figura 10. Sumidouros obstruídos por lixo e vegetação	25
Figura 11. Estruturas georreferenciadas do sistema de drenagem.	33
Figura 12. Mapa ilustrativo do desembocador actual pela topografia local.....	34
Figura 13. Câmara visitável aparentemente submerso no asfalto.	35
Figura 14. Topografia referente ao jardim da cidade de Chókwè.	35
Figura 15. Traçado da rede de drenagem	37
Figura 16. Efeitos da falta de drenagem eficiente no primeiro bairro.....	67
Figura 17. Expressão gráfica das curvas IDF para Maputo.....	67
Figura 18. Esquema Geral do sistema de drenagem.....	68
Figura 19. Perfil do nível da água do Cv32 ao desembocador.....	68
Figura 20. Mapa das regiões pluviométricas de Moçambique.....	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Valores do período de retorno em função da ocupação.....	12
Tabela 2. Coeficiente de escoamento superficial (runoff) – “C”.....	13
Tabela 3. Tempo de concentração para áreas urbanizadas.....	14
Tabela 4. Valores de a e b para diferentes períodos de retorno.....	27
Tabela 5. Condições regulamentares e dados de entrada para o cálculo do diâmetro dos colectores.	38
Tabela 6. Valores do caudal para cada área de contribuição.....	48
Tabela 7. <i>Colectores dimensionados</i>	51
Tabela 8. Elementos de implantação das câmaras de visita.	54
Tabela 9. Dimensionamento dos dispositivos de entrada (sumidouros de guia).....	58
Tabela 10. Adopção de diâmetros comerciais pelos calculados.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS

EPA- Environmental Protection Agency

SWMM- Storm Water Management Model

ETAR- Estação de Tratamento de Águas Residuais

IDF- Intensidade-Duração-Frequência

EUA- Estados Unidos de América

RSPDADAR- Regulamento de Sistemas de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais

CV- Câmaras de Visita

INAM- Instituto Nacional de Meteorologia



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

2. Declaração

Declaro por minha honra que este Protocolo de Trabalho de Culminação do Curso é resultado de minha investigação pessoal e das orientações dos meus tutores, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, _____ de _____ de _____

(Wilson Chipa Wilissone)

3. DEDICATÓRIA

Às pessoas que tornaram possível essa jornada!

4. AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por me fazer acreditar que para além das dificuldades que a vida nos trava, é possível vencer pela insistência.

Aos meus pais Chipa Wilissone Sitole e Joana Lucas Quembo, por todo o apoio financeiro e moral que prestaram desde os primeiros dias de vida, até o momento desta realização, pois sem eles a conclusão deste trabalho nunca poderia ter sido possível.

Ao Eng^o. Fernando Brazão Tembe e Dr. Mário Tauzene Afonso Matangue pela disponibilidade demonstrada e da prontidão com que sempre me receberam para o esclarecimento de qualquer problema.

Um agradecimento também ao resto da minha família que directa ou indirectamente ajudaram-me nesta jornada. Uma menção especial a Turesse Chipa, Sinambale Lucas, Samissone Wilson, Samuel Wilson, José Wilson e Eduardo Wilson.

Aos meus colegas que tive o privilégio de os conhecer, não só durante a elaboração deste trabalho, mas também ao longo desta caminhada. Uma menção especial a Elton Nhassengo, Líria Saranga, Luís Jeje, Eliseu Gujamo, Jotamo Tinga e Jhone Ernesto.

5. RESUMO

O sistema de drenagem faz parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana. A ineficiência de sistemas de drenagem é a principal responsável pelo acúmulo das águas por longas horas após a precipitação. Tem-se verificado uma deficiência no escoamento de volumes precipitados na área abrangida pelo sistema no primeiro bairro da cidade de Chókwè, sendo necessário uma avaliação do seu desempenho e seu posterior redimensionamento. Devido a falta de dados relativos ao sistema e a inacessibilidade às câmaras de visita e sumidouros devido a sua obstrução, a avaliação do desempenho do sistema foi feita por meio de observação após a precipitação e de análise de mapa topográfico gerado através da correlação do Google Earth, GPS Visualizer e ArcMap 10.6, foi também usado o Storm Water Management Model (SWMM) para o traçado e a simulação da rede de drenagem dimensionada e uma série de equações para o dimensionamento dos colectores e dispositivos de entrada do sistema. Foram analisadas uma série de dados de precipitação da cidade de Chókwè do período referente a 1965 à 2012 e foi considerado precipitação do projecto 419.6 mm, a máxima precipitação neste período. Foram dimensionados 87 colectores com o diâmetro de 250 mm e 800 mm de mínimo e máximo respectivamente, 87 câmaras de visitas e 318 sumidouros de guia. As câmaras de visita possuem um diâmetro de 1 m e altura de 1.23 m e 1.56 m, de mínima e máxima respectivamente. A simulação do sistema pelo SWMM mostrou haver instabilidade nos colectores C74 C82 C83 C84 e C85, por sua vez a análise gráfica da velocidade nesses colectores mostrou que as velocidades variam entre 0.9 à 4.78 m/s, que comparadas a regulamentar, são maiores que 0.5 e menores que 5 m/s, associado a menores valores desta instabilidade, esta tornou-se desprezível. A simulação provou que o sistema apresenta uma boa capacidade de escoamento do caudal, escoando todo o caudal até 6 horas após o início de uma precipitação com duração de 180 minutos. Deverá ser implantado a jusante do sistema, uma bacia de retenção para o reúso das águas.

Palavra passe: Drenagem pluvial, SWMM, Chókwè.

6. ABSTRACT

The drainage system is part of the set of existing public improvements in an urban area. The inefficiency of drainage systems is the main responsible for the accumulation of water long hours after rainfall. There has been a deficiency in the flow volumes of precipitates in the area covered by the system in the first quarter of the town of Chokwe, requiring an evaluation of its performance and its subsequent scaling. Due to lack of data on the system and lack of access to manholes and sinks due to clogging, the evaluation of system performance was made by observation after rainfall and topographic map analysis generated through the Google Earth correlation, Visualizer and ArcMap GPS 10.6, was also used the Storm Water Management Model (SWMM) for tracing and simulation sized drainage network and a series of equations for the design of the collectors and system input devices. We analyzed a series of Chokwe city rainfall data for the period relating to 1965 to 2012 and was considered precipitation of 419.6 mm project, the maximum rainfall in this period. 87 collectors were sized with a diameter of 200 mm and 800 mm minimum and maximum respectively, chambers 87 and 318 visits tab sinks. The manholes have a diameter of 1 m and height 1.23 m and 1.56, minimum and maximum respectively. The simulation system for SWMM, showed the instability of the collectors C74 C82 C83 C84 and C85, in turn graphical velocity analysis in these collectors showed that the speeds are above the average speeds to values between 0.9 to 4.78 m / s, which compared regulatory are greater than 0.5 and less than 5 m / s. The simulation proved that the system exhibits good flow ability, flowing around the flow up to 6 hours after the beginning of a precipitation time of 180 minutes. It should be deployed system downstream of a collecting basin for the reuse of water.

Password: Storm drainage, SWMM, Chokwe.

1. INTRODUÇÃO

No processo de assentamento dos agrupamentos populacionais, o sistema de drenagem se sobressai como um dos mais sensíveis dos problemas causados pela urbanização, tanto em razão das dificuldades de esgotamento das águas pluviais quanto em razão da interferência com os demais sistemas de Infra-estruturas, além de que, com retenção da água na superfície do solo, surgem diversos problemas que afectam directamente a qualidade de vida desta população (FUNASA, 2007).

O sistema de drenagem é de extrema importância pois contribui sobretudo para o bem-estar da população. A falta de planeamento e a integridade no gerenciamento dos sistemas de drenagem, ocasionam inundações. A questão de inundações ou alagamento das águas pluviais no sistema de drenagem pode também estar directamente ligada a falhas no seu dimensionamento.

Estudo de avaliação de eficiência de um sistema de drenagem é de grande valia técnica e social, pois trás uma realidade na sua maioria não contida no dimensionamento, após a avaliação é necessário que hajam recomendações técnicas adaptáveis ao terreno em estudo.

O dimensionamento de sistemas de drenagem deve ser precedido de análises no que diz respeito à destino final das águas, devendo-se para isso serem analisadas opções que acarretam menos custos e garantam um bom funcionamento do sistema. As obras de drenagem dependem bastante das condições rodoviárias do local, por essa razão é importante que as obras de drenagem decorram em simultâneo ou antes das obras de pavimentação das rodovias. O presente trabalho consistiu no redimensionamento do sistema de drenagem no primeiro bairro da cidade de Chókwè para o escoamento das águas pluviais, alterando o actual sistema unitário existente.

1.1. Objectivos:

1.1.1. Geral:

- Redimensionar o sistema de drenagem no primeiro bairro da cidade de Chókwè.

1.1.2. Específicos:

- Caracterizar o sistema existente;
- Medir a eficiência do sistema existente;
- Determinar os parâmetros hidrológicos da área de estudo;
- Dimensionar as componentes do sistema de drenagem;
- Confrontar os resultados por meio de uma simulação dinâmica no SWMM

PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A topografia é o principal elemento a considerar na implantação de um sistema de drenagem urbana, isso devido o uso da gravidade para o escoamento superficial e nos colectores subterrâneos. A deficiência topográfica em relação ao desembocador do sistema de drenagem actual, aliada a degradação e obstrução dos órgãos de entrada na drenagem de águas pluviais no primeiro bairro de Chókwè é um factor preocupante. A existência de uma rede de drenagem eficiente trás uma enorme vantagem, pois este faz parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana, assim como as redes de água, de esgotos sanitários, de cabos eléctricos e telefónicos, além da iluminação pública, pavimentação de ruas, guias e passeios, parques, áreas de lazer, e outros (FCTH, 1999).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistema de drenagem

O sistema de drenagem deve ser entendido como o conjunto da infra-estrutura existente em uma cidade para realizar a colecta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais. Inclui ainda a hidrografia e os talwegues. (Pinto & Pinheiro, 2006).

Os sistemas de drenagem urbana são sistemas preventivos de inundações, principalmente nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos ou marginais aos cursos de água. A sua falta de drenagem, propicia o aparecimento de doenças como a leptospirose, diarreias, febre tifóide e a proliferação dos mosquitos anófeles, que podem disseminar a malária. E, para isso tudo, estas águas deverão ser drenadas e como medida preventiva adoptar-se um sistema de escoamento eficaz que possa sofrer adaptações, para atender à evolução urbanística, que aparece no decorrer do tempo (FUNASA, 2007).

2.1.1. Tipos de sistemas de drenagem

Os sistemas de drenagem urbana são constituídos essencialmente por redes de colectores, elementos acessórios (câmaras de visita, câmaras de corrente de varrer, sarjetas, sumidouros e descarregadores), instalações complementares (instalações elevatórias, bacias de retenção, sifões invertidos, desarenadores e câmaras de grades), instalações de tratamento e dispositivos de descarga final (Cardoso, 2008).

Os sistemas de drenagem urbana podem ser classificados, consoante a finalidade a que se destinam e a natureza das águas residuais que transportam, nos seguintes tipos (Matos, 1993b) *apud* (Cardoso, 2008):

- **Sistemas separativos** – constituídos por duas redes distintas de colectores, destinando-se uma a transportar as águas residuais domésticas e industriais até à ETAR, para tratamento; e a outra a conduzir as águas pluviais ou similares, que são descarregadas directamente no meio receptor;
- **Sistema unitário** – constituído por uma única rede de colectores onde são misturadas as águas residuais domésticas e industriais e as águas pluviais; durante o tempo seco as águas residuais domésticas e industriais são conduzidas, em regra, à Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), onde são tratadas. Na ocorrência de precipitação, quando a capacidade do sistema ou da ETAR, é ultrapassada, o caudal excedente é descarregado para

o meio receptor, através de descarregadores de tempestade, o que se designa por *descarga de excedentes por ocorrência de precipitação* (Marsalek *et al.*, 1992) apud (Cardoso, 2008).

- **Sistema misto** – constituído pela conjugação dos dois tipos anteriores, em que uma parte funciona como sistema unitário e outra como sistema separativo;
- **Sistema pseudo-separativo** – em que parte das águas pluviais caídas sobre a bacia são conduzidas à rede doméstica como, por exemplo, a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao colector de águas residuais domésticas, em condições excepcionais.

Existem, ainda, outros tipos de sistemas de drenagem, designados por *sistemas não convencionais*, que destinam-se à drenagem de pequenos aglomerados populacionais, em condições orográficas e topográficas desfavoráveis (regiões planas, montanhosas, rochosas, zonas com elevados níveis freáticos), com o objectivo de constituírem soluções técnico-economicamente mais sustentáveis, em relação às soluções tradicionais (Cardoso, 2008).

2.1.2. Finalidades do sistema de drenagem

Dentro do contexto de desenvolvimento global de uma região, os programas de drenagem urbana devem ser orientados, de maneira geral, pelos seguintes objectivos principais:

- Reduzir a exposição da população e das propriedades ao risco de inundações;
- Reduzir sistematicamente o nível de danos causados pelas inundações;
- Preservar as várzeas não urbanizadas numa condição que minimize as interferências com o escoamento das vazões de cheias, com a sua capacidade de armazenamento, com os ecossistemas aquáticos e terrestres de especial importância e com a interface entre as águas superficiais e subterrâneas;
- Assegurar que as medidas correctivas sejam compatíveis com as metas e objectivos globais da região;
- Minimizar os problemas de erosão e sedimentação;
- Proteger a qualidade ambiental e o bem-estar social;
- Promover a utilização das várzeas para actividades de lazer e contemplação.

O sistema de drenagem pode ser de microdrenagem ou macro drenagem.

O sistema de *microdrenagem*, também chamado de sistema inicial de drenagem ou sistema colector de águas pluviais, é aquele composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, sumidouros, rede de galerias de águas pluviais e, também canais de pequenas dimensões (Mendonça, 2009).

O sistema de *macro drenagem* é constituído por canais de maiores dimensões, sejam eles abertos ou fechados. Esses sistemas encaixam-se no contexto do controle do *escoamento superficial directo*, tendo como base o enfoque orientado para o aumento da condutividade hidráulica do sistema de drenagem (FCTH, 1999).

As águas urbanas e, em particular, os sistemas urbanos de drenagem devem ser tratado segundo a óptica científica e tecnológica, pois, como os demais sistemas reais, estão sujeitos a grandes alterações quanto aos questionamentos, problemática, abordagens, formulações, instrumentos de análise, novos conceitos e paradigmas, aprimoramentos computacionais e de geoprocessamento etc.

2.2. Efeitos da urbanização na hidrologia das bacias hidrográficas

A ocupação do espaço urbano, sem considerar suas limitações, tem causado efeitos directos sobre os recursos hídricos no meio ambiente antrópico (PROSAB, 2009).

A construção de habitações em uma bacia hidrográfica altera a sua resposta à ocorrência de chuvas. Os efeitos mais preponderantes são as reduções da infiltração e o tempo de trânsito das águas, que resultam em picos de vazão muito maiores em relação às condições anteriores à citada urbanização. São clássicos os exemplos que relacionam o crescimento das vazões máximas de cheias com a área urbanizada da bacia e a área servida por obras de drenagem. Há casos extremos em que os picos de cheia numa bacia urbanizada podem chegar a ser da ordem de 6 vezes superiores ao pico da mesma bacia em condições naturais (FCTH, 1999).

Montenegro e Tucci (2005) descrevem os principais impactos da urbanização:

- i. Aumento das vazões máximas (em cerca de seis vezes) e de sua frequência, decorrente do aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais, da impermeabilização do solo;
- ii. Aumento da erosão, da produção de sedimentos e de resíduos sólidos urbanos;
- iii. Deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, em virtude da lavagem das ruas, do transporte de material sólido e das ligações clandestinas de esgoto doméstico e pluvial e da contaminação de aquíferos.

As inundações podem ser oriundas de fontes distintas. Algumas são de origem natural, chamada de inundações naturais e acontecem independentes da presença do homem, como consequência de precipitações intensas e à baixa capacidade de infiltração dos solos. Outras são afectadas por acções antrópicas, que podem atenuar ou ampliar a magnitude da inundação e, são chamadas *inundações*

modificadas. Existem também a *inundações induzidas*, que são aquelas provocadas estritamente pela acção humana, como por exemplo, no caso de alteração de operação de uma barragem ou uma represa (Mendonça, 2009). A Figura 1 ilustra o efeito da urbanização na propagação da vazão em uma bacia. Observa-se que antes da urbanização, a vazão de pico era escoada em menos tempo em relação à depois da urbanização.

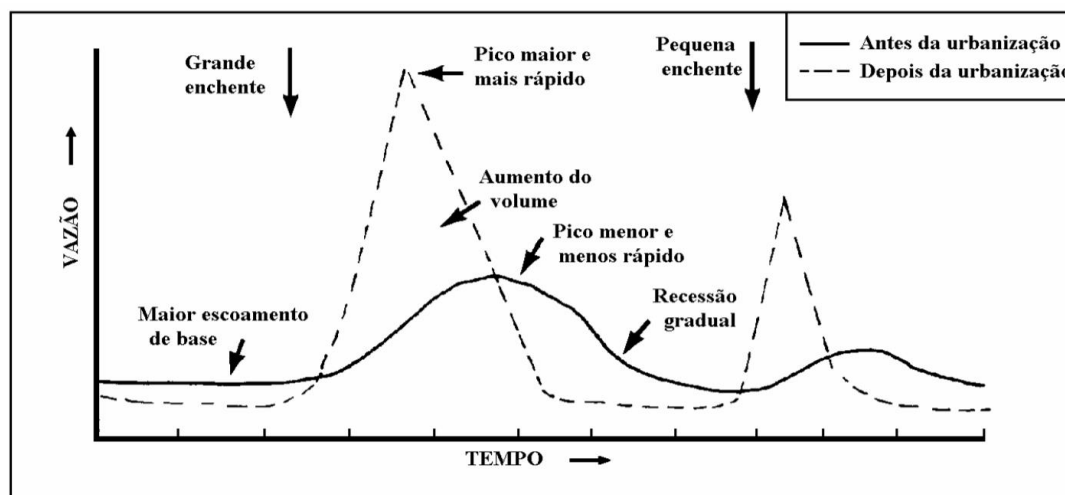


Figura 1. Efeitos da urbanização sobre o escoamento superficial

6.3. Impactos da drenagem pluvial urbana

Além da alteração de uso e ocupação dos solos, a drenagem pluvial urbana substitui parte do ciclo natural da água, em particular, a transferência, pelos sistemas de drenagem pluvial urbana utilizando uma filosofia “*tout l’égout*”, que consiste em escoar a água precipitada o mais rapidamente, sem qualquer preocupação com a retenção dos volumes escoados e dos caudais majorados pela impermeabilização das zonas urbanas a montante, induz sérios problemas a jusante. (VIEIRA, 2014). Os problemas destacados segundo Marques, et al (2013) são:

- A artificialização de linhas de água, como canais ou colectores, com materiais com baixo coeficiente de rugosidade, como o betão ou aço, e o aumento da declividade dos terrenos, induzem elevadas velocidades de escoamento.
- É igualmente comum a inundação localizada, devido à redução da secção de escoamento, pelo estrangulamento dos cursos de água por pilares de pontes, passagens hidráulicas incompatíveis com os caudais afluentes, vias de comunicação e em geral pela ocupação da área de inundação das linhas de água.

6.3.1. Soluções alternativas de gestão do escoamento

Segundo Souza (2002), de forma a minimizar os impactos acima referidos, no que diz respeito à drenagem pluvial devem ser tidas em conta e estudadas um conjunto de soluções alternativas com o intuito de contrariar os efeitos da urbanização no meio receptor, quer do ponto de vista quantitativo, quer qualitativo, actuando sempre que possível nas proximidades das áreas impermeabilizadas.

As soluções alternativas podem ser estruturais, quando implicam a utilização de materiais ou estruturas físicas de gestão do escoamento, ou não estruturais, tratando-se essencialmente de medidas preventivas de carácter institucional e educacional, com vista à restrição e coordenação do uso e ocupação dos solos, com base em políticas de desenvolvimento sustentável.

Dentre as medidas estruturais, faz parte a construção de bacias de retenção do volume escoado pelo sistema.

6.3.2. Bacias de retenção

As bacias de retenção surgem neste contexto como solução privilegiada aos actuais problemas de drenagem pluvial, uma vez que evitam a necessidade de renovação e redimensionamento da rede existente, tratando-se de estruturas que actuam como mecanismo de controlo, armazenamento e regularização dos caudais, retendo o volume de água em excesso, amortecendo o caudal de ponta e restituindo-o de forma compatível com o meio receptor. (Mata-Lima, Silva, & Raminhos, 2006). Feito o armazenamento, as águas pluviais armazenadas na bacia podem ser usadas para múltiplos fins, nomeadamente a agricultura, recreação, reserva contra incêndios. No que tange a qualidade de água, as bacias contribuem como uma unidade de decantação, melhorando a sua qualidade.

6.3.2.1. Tipos de bacias de retenção

a) Classificação quanto a estrutura física

As bacias de retenção podem apresentar as mais diversas formas geométricas e profundidades, adaptando-se às condicionantes fisiográficas do terreno de implantação, em função das necessidades específicas de cada caso, e enquanto estrutura física, podem classificar-se: (Mano, 2008).

- **Quanto à implantação em relação à superfície do solo em:**

Bacias a céu aberto;

Bacias enterradas;

- **Quanto à sua localização em relação ao colector ou canal de drenagem em:**

Bacias em série;

Bacias em paralelo;

- **Quanto ao comportamento hidráulico, as bacias a céu aberto, classificam-se em:**

Bacias secas;

Bacias com nível de água permanente.

6.4. Desempenho do Sistema de drenagem

O desempenho de um sistema é definido pela capacidade de atendimento aos objectivos para qual o sistema foi criado e este pode ser avaliado considerando a frequência, a extensão, a profundidade e a duração das inundações (KOLSKY & BUTLER, 2002).

BENNIS *et al.* (2003) citado em Mendonça (2009), diz que a avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas pode ser realizada utilizando os seguintes critérios:

- Capacidade hidráulica das seções.
- Frequência e duração das sobrecargas.
- Volume transbordado.
- Duração das inundações.
- Área afectada pelas inundações.
- Custo dos danos causados à propriedade privada.

O desempenho do sistema de drenagem pode ser avaliado também, inquerindo os beneficiários da rede, apesar de este método não fornecer uma fiabilidade pois a pessoa que estiver sendo inquerida pode não conseguir expressar realmente o que realmente acontece no local, pode também ter algumas falhas nas memórias, por esses motivos, é sempre necessário que o mesmo possa indicar um local que acumula a água ao invés de drena-la.

A avaliação do desempenho de uma rede de drenagem não deve ser feita como forma de baixar o crédito do projectista ou mesmo do empreiteiro responsável pela construção da mesma, é sempre melhor que se faça essa avaliação.

Um dos maiores problemas que compromete um sistema de drenagem, é a não observância detalhada das condições do local de implementação. Por sua vez, o uso de tecnologias que permitem fazer essas análises é de crucial importância.

Um aspecto importante na projecção de sistemas de drenagem pluvial é que o sistema de drenagem desemboque onde as linhas de fluxo convergem ou tendem, ou seja, é importante que o projectista faça uma análise das curvas de níveis de modo que o desembocador esteja na região mais baixa do terreno.

6.4.1. Vantagens de um sistema de drenagem eficiente

O funcionamento adequado do sistema de drenagem de águas pluviais possui as seguintes vantagens:

- Minimiza a perturbação do sistema de drenagem natural.
- Proporciona segurança no tráfego de veículos durante precipitações com período de retorno menores.
- Mantém a segurança da população e possibilita a gestão das inundações durante precipitações com período de retorno maiores.
- Protege o ecossistema aquático do curso d'água urbano.
- Diminui os custos de manutenção do sistema. (URBAN DRAINAGE IN FLOOD CONTROL DISTRICT, 2002) citado em (BOLDRIN, 2014).

6.5. Configuração da rede de drenagem

Com base na topografia disponível e na rede de drenagem é realizado o traçado da rede pluvial. Para estudar a configuração da drenagem é necessário realizar um processo iterativo com o projectista do arranjo e disposição da área, principalmente para que se obtenha um melhor aproveitamento das áreas de detenção ou retenção, de acordo com a filosofia de projecto da área (IPH & UFRGS, 2005).

No dimensionamento de uma rede de drenagem de águas pluviais podem considerar-se três etapas fundamentais:

- Definição dos elementos de base;
- Cálculo dos caudais pluviais de projecto;
- Dimensionamento hidráulico dos colectores.

6.6. Definição dos elementos de base

Para estabelecer-se os elementos de base para o dimensionamento de uma rede de drenagem de águas pluviais, deve-se ter em contas os seguintes aspectos:

- Definição correcta dos limites da bacia hidrográfica e das sub-bacias afectas a cada troço da rede (decomposição da bacia total em sub-bacias elementares, mais ou menos homogéneas, em termos de ocupação).
- Definição do período de retorno (neste contexto, o período de retorno corresponde ao intervalo de tempo médio associado à ocorrência de precipitação de intensidade média superior a um dado valor), para o qual se pretende dimensionar a rede de drenagem; na prática, em pequenos e médios aglomerados urbanos, o período de retorno a considerar para efeito de dimensionamento de colectores de drenagem pluvial varia, em regra, entre dois e dez anos; em certos casos, pode justificar-se a escolha do período de retorno recorrendo, explicitamente, a uma análise de custos-benefícios, dependente dos investimentos necessários e dos prejuízos decorrentes das possíveis inundações.
- Conhecimento do regime pluviométrico local (curvas de intensidade-duração-frequência).
- Definição dos coeficientes de escoamento afectos a cada sub-bacia elementar; os coeficientes de escoamento definem-se como a razão entre o volume de água que dá origem a escoamento e o volume de água efectivamente precipitado sobre a área em estudo; estes factores dependem, entre outros, do tipo e ocupação do solo;
- Definição dos tempos de concentração iniciais (tempos despendidos no percurso da água precipitada, desde o ponto hidráulicamente mais afastado da bacia até à secção em estudo), ou seja, dos tempos de concentração referentes às bacias de cabeceira.
- Definição dos condicionalismos, principalmente de natureza hidráulica, associados à descarga final das águas pluviais no meio receptor.

6.7. Parâmetros hidrológicos

6.7.1. Áreas de Contribuição

As bacias de contribuição são definidas observando a topografia e a localização dos dispositivos de captação de águas pluviais (BOLDRIN, 2014).

As bacias de contribuição são de extrema importância no traçado da rede de drenagem, pois é a partir dela se esquematizam as Sumidouros e a sua respectiva capacidade.

6.7.2. Precipitação do projecto

A precipitação é o principal dado hidrológico de entrada utilizada no cálculo das vazões de projecto das obras de drenagem pluvial. A expressão precipitação de projecto identifica a precipitação que é definida com o objectivo de gerar um hidro grama ou vazão de projecto para determinada obra hidráulica (SEMARH, 2017).

As precipitações de projecto podem ser constantes ou variadas ao longo de sua duração. A precipitação de projecto constante é normalmente aplicada a projectos de microdrenagem (áreas menores que 2 km²) definida para aplicação do Método Racional. A precipitação de projecto variada no tempo (hietograma de projecto, onde as lâminas de precipitação variam de Δt para Δt ao longo da duração D) é adequada para projectos de redes pluviais de macro drenagem (áreas superiores a 2 km²), a partir da aplicação de um Hidrograma Unitário (SEMARH, 2017).

Segundo SEMARH (2017), a precipitação de projecto é, por sua vez, um evento crítico de chuva construído artificialmente com base em características estatísticas da chuva natural e com base em parâmetros de resposta da bacia hidrográfica. Estas características estatísticas e parâmetros são levados em conta com a definição de dois elementos básicos (unidades usuais entre parêntesis):

- Período de retorno T da precipitação de projecto (anos);
- Duração crítica $D_{crítica}$ do evento (min)

Para o cálculo da intensidade da precipitação, a série histórica de precipitações máximas anuais deve ser utilizada. Depois, deve ser seleccionada a distribuição teórica de probabilidade que melhor se ajusta às estimativas amostrais (RIGHETTO, 1998)

Em locais com informações pluviográficas, os dados devem ser sintetizados na forma de relações de intensidade -duração-frequência, comumente chamadas de curvas IDF. A curva IDF de determinado local fornece a intensidade da chuva (mmh⁻¹, por exemplo) para uma dada duração e período de retorno. A maioria dos métodos que estabelecem chuvas de projecto em todo o mundo baseiam-se na curva I-D-F (SEMARH, 2017).

6.7.2.1. Período de recorrência ou tempo de retorno

Segundo RIO-ÁGUAS (2010), O tempo de recorrência ou período de retorno a ser adoptado na determinação da vazão de projecto e, conseqüentemente, no dimensionamento dos dispositivos de drenagem, deverá ser considerado em conformidade com a tabela seguinte:

Tabela 1. Valores do período de retorno em função da ocupação.

<i>Sistema</i>	<i>Característica</i>	<i>Intervalo</i> (anos)	<i>Valor recomendado</i>
Microdrenagem	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
Macro drenagem		10 – 50	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 – 100	50

Fonte: Adaptado de (SPE, 2017)

6.7.3. Caudal do projecto

Segundo SEMARH (2017), o método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projecto para bacias pequenas ($< 2 \text{ km}^2$). Os princípios básicos dessa metodologia são:

- A duração da precipitação máxima de projecto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia é pequena para que essa condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade;
- Adopta um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia;
- Não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.

A equação do modelo é definida por:

$$Q_{max} = CI_{max}A \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

$Q_{máx}$ = vazão máxima (em m^3/s)

C = coeficiente de escoamento médio superficial ponderado.

I_{máx} = máxima intensidade da precipitação (em mm/h)

A = área da bacia contribuinte (em ha)

a) Coeficiente de escoamento superficial

No Método Racional o valor do coeficiente de escoamento superficial da bacia será determinado a partir da média ponderada dos coeficientes das áreas parciais (RIO-ÁGUAS, 2010).

O coeficiente de escoamento superficial depende do tipo de ocupação do solo, podendo ser obtidos alguns desses na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de escoamento superficial (runoff) – “C”

<i>Tipologia da área de drenagem</i>	<i>Coeficiente de escoamento superficial</i>
Áreas Comerciais	
Áreas centrais	0,70 – 0,95
Áreas de bairros	0,50 – 0,70
Áreas Residenciais	
Residenciais isoladas	0,35 – 0,50
Unidades múltiplas, separadas	0,40 – 0,60
Unidades múltiplas, conjugadas	0,60 – 0,75
Áreas com lotes de 2.000 m ² ou maiores	0,30 – 0,45
Áreas suburbanas	0,25 – 0,40
Áreas com prédios de apartamentos	0,50 – 0,70

Fonte: Adaptado de RIO-ÁGUAS (2010).

Considerou-se neste projecto o coeficiente de escoamento superficial para áreas com residências isoladas.

b) Tempo de concentração

Em bacias tipicamente urbanas, em que as áreas de drenagem dos colectores de cabeceira são bastante impermeabilizadas, o tempo de entrada é, em geral, fixado entre certos limites que podem, no entanto, variar significativamente em função do tipo de solo, da tipologia de ocupação

urbanística e do declive superficial. (SOUSA & MATOS, PROJECTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS, sd)

Assim, são tomados como referência valores de 2 a 4 minutos na Grã-Bretanha e Suécia, de 5 a 30 minutos nos EUA e de 5 a 10 minutos no Canadá. COSTA recomenda, para Portugal, valores de 5 minutos em áreas de declive superior a 8%, 7,5 a 10 minutos em áreas de declive compreendido entre 1,5 a 8% e de 10 a 15 minutos em áreas de declive inferior a 1,5%. (SOUSA & MATOS, PROJECTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS, sd)

Em projectos de microdrenagem, quando a área a montante for urbanizada ou estiver em processo de urbanização, com divisor de águas a uma distância aproximada de 60 m, o tempo de concentração inicial será obtido na tabela 3:

Tabela 3. Tempo de concentração para áreas urbanizadas.

<i>Tipologia da área a montante</i>	<i>Declividade da sarjeta</i>	
	<3%	>3%
Áreas de construções densas	10 min	7 min
Áreas residenciais	12 min	10 min
Parques, jardins, campos	15 min	12 min

Fonte: Adaptado de RIO-ÁGUAS (2010).

Para os demais casos, as parcelas do tempo de concentração poderão ser calculadas pela fórmula de George Ribeiro ou pela fórmula de Kirpich, relativas ao percurso sobre o talvegue e pela fórmula de Kerby, relativa ao percurso sobre o terreno natural; para canais, recomenda-se a adopção do Método Cinemático. O tempo de concentração adoptado não deverá ser inferior a 5 minutos (RIO-ÁGUAS, 2010).

Para este projecto, foi considerado o tempo de entrada de 10 minutos.

6.8. Componentes da rede hidráulica

Após conhecida a vazão do projecto e feito o traçado da rede, pode-se proceder ao dimensionamento dos componentes hidráulicos da rede.

Os sistemas de drenagem de águas pluviais de aglomerados populacionais são constituídos, essencialmente, por redes de colectores e órgãos acessórios, podendo dispor de órgãos especiais e

instalações complementares (SOUSA & MATOS, PROJECTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS, sd).

6.8.1. Elementos de captação e transporte

a) Valetas

São as calhas formadas por faixas da via pública e o meio-fio (guia), ou somente por faixas nos cruzamentos de ruas e que são colectoras de águas caídas ou lançadas nessas vias. Comportam-se como sendo canais de secção triangular. Geralmente são dimensionadas por critérios que não consideram sua função hidráulica; então, importa apenas determinar sua capacidade hidráulica (máxima vazão de escoamento) para comparação com a vazão originada da chuva de projecto e decidir sobre as posições dos sumidouros que retiram essas águas da superfície das ruas (NETTO, 1998).

b) Sumidouros

Segundo NETTO (1998), Os sumidouros dispositivos localizados nas sarjetas para a captação das águas em escoamento nas mesmas, quando se esgota sua capacidade hidráulica. Podem ser de guia, de sarjeta ou mistas, com grelhas ou não, bem como as depressões. A figura 2 ilustra os diferentes tipos de sumidouros acima referidos.

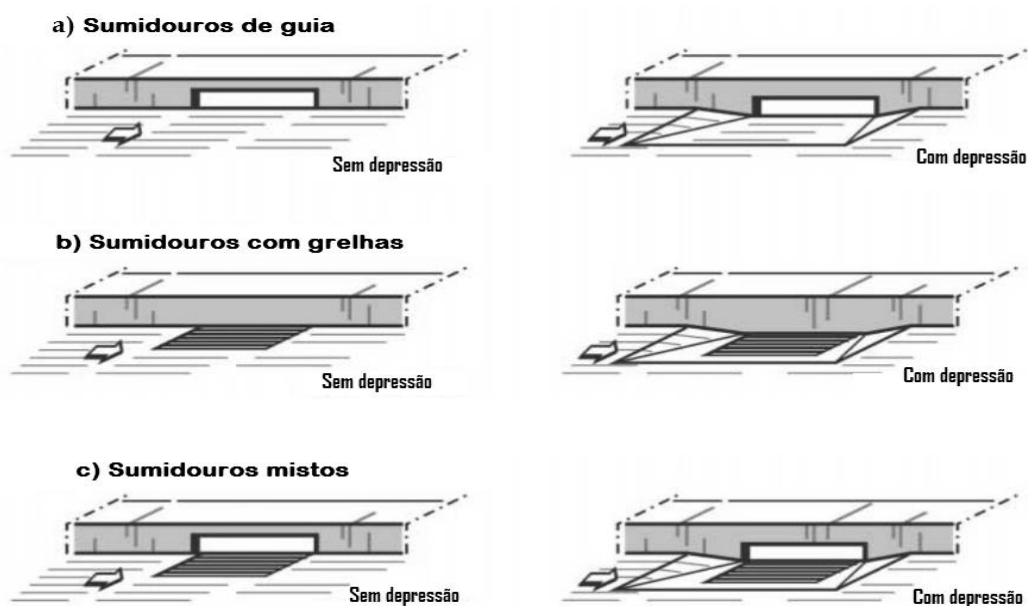


Figura 2. Tipos de sumidouros. [Adaptado de SUDERHSA (2002)].

Os sumidouros devem ser localizadas em ambos os lados das ruas quando a capacidade hidráulica da sarjeta exigir; também nos pontos baixos das quadras devem ser colocados sumidouros; junto ao cruzamento eles devem estar a montante do vértice de intersecção das sarjetas, para evitar enxurradas convergentes, com prejuízo para o trânsito de pedestres.

c) Tubos de ligação

São ligações entre os sumidouros e os poços de visita ou caixas de ligação.

d) Caixas de ligação

São utilizadas para receber tubos de ligação dos sumidouros intermediários ou para evitar excesso de ligações em câmaras de visita (máximo quatro ligações). Não são visitáveis.

e) Câmaras de visita

São câmaras visitáveis cuja função principal é permitir o acesso às galerias para inspecção e desobstrução. Para isso, é conveniente que a sua localização seja em pontos de intersecção dos condutos (cruzamentos de ruas), mudanças de secção, de declividade e de direcção.

f) Colectores

Os colectores pluviais serão projectadas para funcionamento a seção plena com a vazão de projecto. A velocidade máxima admissível será determinada em função do material a ser empregado na rede (SUDERHSA, 2002).

Nas mudanças de diâmetro, os tubos deverão ser alinhados pela geratriz superior, como indicado na figura 3:

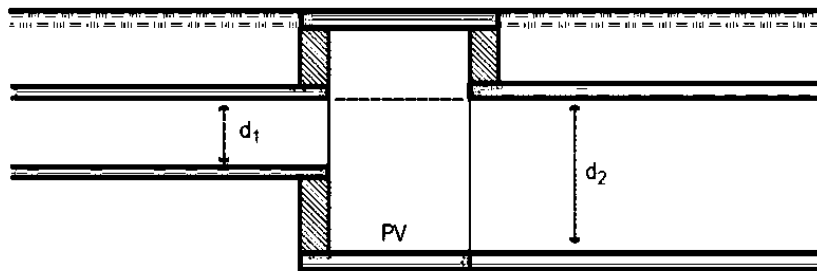


Figura 3. Alinhamento dos condutos. [Adaptado de SURDSHSA (2002)].

6.8.2. Disposição dos componentes

Traçado preliminar - através de critérios usuais de drenagem urbana, devem ser estudados diversos traçados da rede de galerias, considerando-se os dados topográficos existentes e o pré-dimensionamento hidrológico e hidráulico. A definição da concepção inicial é mais importante para a economia global do sistema do que os estudos posteriores de detalhamento do projecto, de especificação de materiais, etc. (IPH & UFRGS, 2005).

Colectores - existem duas hipóteses para a locação da rede colectora de águas pluviais: (i) no passeio, a 1/3 da guia (meio-fio) e (ii) a menos utilizada, sob o eixo da via pública (Figura 2). Além disso, deve possibilitar a ligação das canalizações de escoamento dos Sumidouros (IPH & UFRGS, 2005).

A rede de colectores é o conjunto das canalizações que assegura o transporte dos caudais pluviais afluentes, desde os dispositivos de entrada até um ponto de lançamento ou destino final. Ela é constituída, em geral, por colectores de betão de secção circular (SOUSA & MATOS, PROJECTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS, sd).

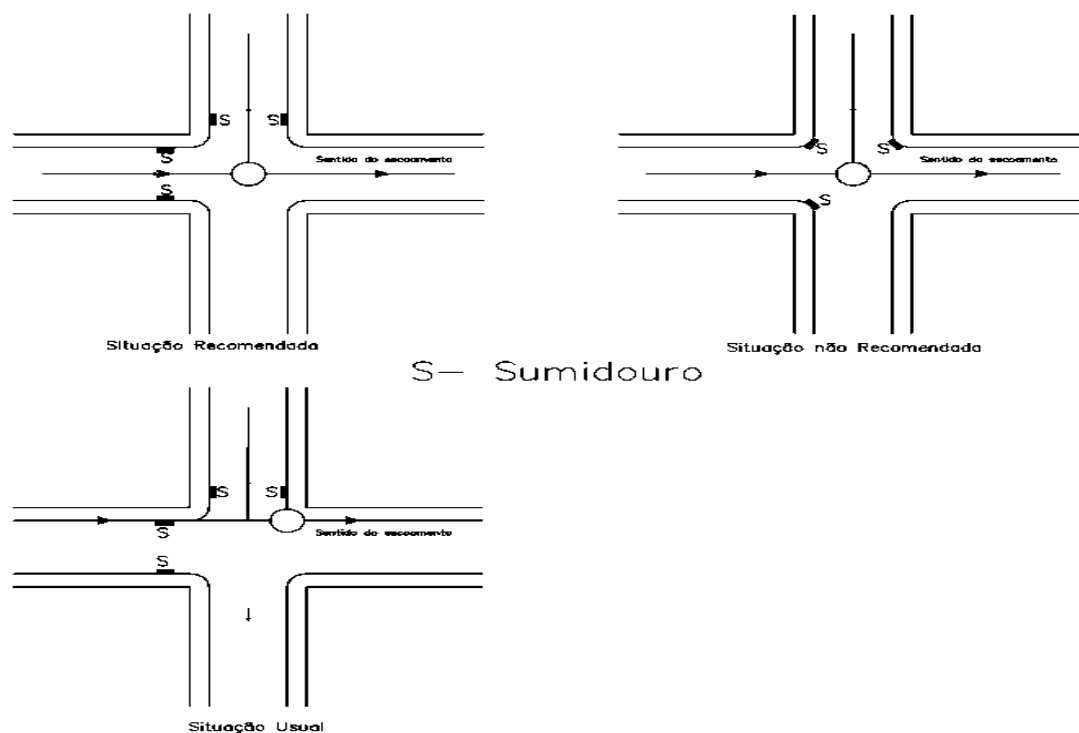


Figura 4. Rede colectora na via pública. [Adaptado de (FCTH, 1999)].

Sumidouros - a locação dos Sumidouros deve considerar as seguintes recomendações:

- Serão locadas em ambos os lados da rua, quando a saturação da sarjeta assim o exigir ou quando forem ultrapassadas as suas capacidades de engolimento;
- Serão locadas nos pontos baixos da quadra;
- A localização dos Sumidouros deve ser determinada através do cálculo da capacidade hidráulica da sarjeta, considerando-se uma altura do meio-fio de 0,15 m e uma largura da lâmina d'água variável;
- A melhor solução para a instalação de Sumidouros é que esta seja feita em pontos pouco a montante de cada faixa de cruzamento usada pelos pedestres, junto às esquinas;
- Não é conveniente a sua localização junto ao vértice de ângulo de intersecção das sarjetas de duas ruas convergentes, pelos seguintes motivos: **(i)** os pedestres, para cruzarem uma rua, teriam que saltar a torrente num trecho de máxima vazão superficial; **(ii)** as torrentes convergentes pelas diferentes valetas teriam, como resultante, um escoamento de velocidade em sentido contrário ao da afluência para o interior do sumidouro (IPH & UFRGS, 2005).

Câmaras de visita – as câmaras de visita tem a função primordial de permitir o acesso às canalizações para limpeza e inspecção, de modo que se possam mantê-las em bom estado de funcionamento. Sua locação é sugerida nos pontos de mudanças de direcção, cruzamento de ruas (reunião de vários colectores), mudanças de declividade e mudança de diâmetro. O espaçamento recomendado para as câmaras de visita é de 50 m (IPH & UFRGS, 2005).

A Figura 5 ilustra a configuração das câmaras de visita.

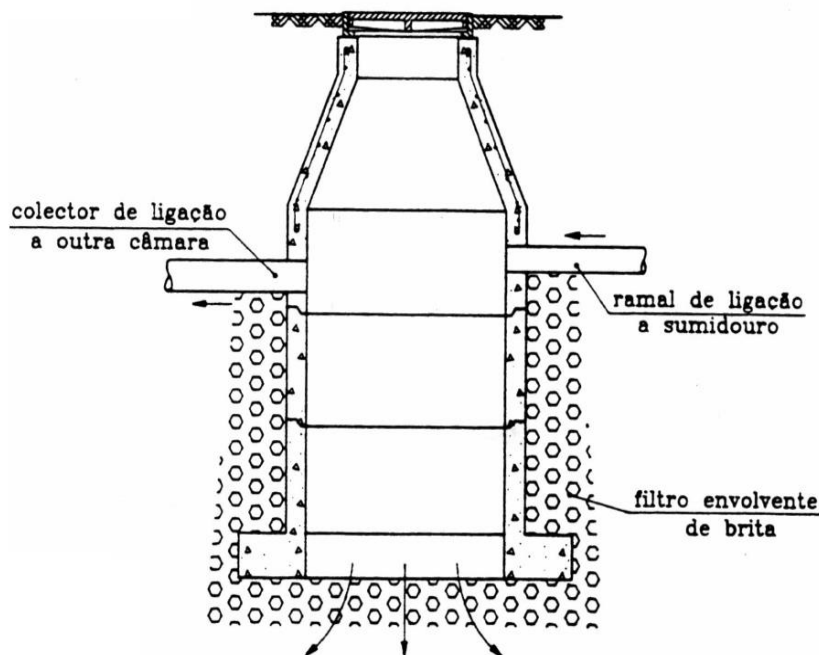


Figura 5. Corte transversal de câmara de visita

O RSPDADAR recomenda que em alinhamentos rectos, o afastamento máximo entre as câmaras de visita consecutivas não deve ultrapassar 60 a 100 m, conforme se trate de colectores.

6.9. Dimensionamento hidráulico dos colectores

O dimensionamento hidráulico de colectores é o conjunto de procedimentos, ou etapas de cálculo, cuja finalidade é a determinação dos diâmetros e declives de cada um dos colectores que constituem a rede, por forma a assegurar o transporte dos caudais de cálculo previstos, de acordo com determinados critérios hidráulicos pré-estabelecidos (SOUSA & MATOS, PROJECTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS, sd).

6.9.1. Critérios e procedimentos de dimensionamento da rede de drenagem de águas pluviais

Um dos objectivos principais do dimensionamento hidráulico duma rede é a determinação dos diâmetros e inclinações dos colectores, de forma a evitar, a medida do possível, a deposição dos sólidos em suspensão. Dada a grande flutuação de caudal numa rede, é impossível manter condições de escoamento que verifiquem aquela condição ao longo do período de vida da obra (SOUSA, PROJECTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS COMUNITÁRIAS, sd).

Na quantificação dos critérios para o dimensionamento da rede, há que distinguir o seguinte:

- ✓ A velocidade de escoamento máxima admissível é de 5 m/s, dado que se considera que o caudal máximo de dimensionamento ocorre com pouca frequência;
- ✓ A altura máxima de escoamento deve ser igual ao diâmetro do colector (escoamento a secção cheia);
- ✓ O poder de transporte mínimo deve situar-se entre 3 a 4 N/m², para a secção cheia (aspecto não definido regulamentarmente).

Para melhor apresentação e melhor percepção dos cálculos a serem efectuados, é muito importante que se faça um quadro. A seguir ilustra-se os procedimentos ou passos de cálculos.

- 1º. Análise da área de projecto (incluindo o reconhecimento local e eventual levantamento topográfico) e traçado da rede em planta.
- 2º. Fixação do período de retorno, T, para o qual se pretende dimensionar a rede.
- 3º. Escolha da curva de I-D-F aplicável à zona em estudo para o período de retorno escolhido.
- 4º. Definição das áreas contribuintes em cada secção de cálculo.
- 5º. Determinação do coeficiente médio, C, ponderado para a área drenante total, em cada secção de cálculo:

$$C = \frac{\sum_i C_i A_i}{\sum_i A_i} \quad \text{Eq. (2)}$$

- 6º. Determinação do tempo de concentração, t_c.
- 7º. Determinação da intensidade média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração (a partir das curvas de I-D-F).
- 8º. Cálculo do caudal de projecto, por intermédio da seguinte expressão (método racional):

$$Q_p = C * I * A \quad \text{Eq. (3)}$$

9º. Fixação do diâmetro e inclinação do colector tendo em conta a minimização de custos, condicionalismos técnicos e regulamentares de implantação do colector (profundidade de assentamento mínima) e satisfação dos critérios hidráulicos (capacidade de escoamento, velocidade máxima e poder de transporte). É usual admitir-se o escoamento em regime permanente e uniforme e a aplicação da expressão de Manning-Strickler.

10º. Determinação do tempo de percurso, t_p, ao longo do troço de colector considerado no passo 9º, o que requer o conhecimento da extensão do colector e da velocidade média do escoamento, para o caudal de dimensionamento.

11°. Adição do tempo de percurso, t_p , calculado no passo anterior, ao tempo de concentração, t_c , calculado no passo 6°.

12°. Repetição de todos os passos de cálculo, de montante para jusante, a partir do passo 5°, para as sucessivas secções de cálculo.

6.10. Simulação do Sistema de drenagem

6.10.1. SWMM (Storm Water Management Model)

O *SWMM* é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas; pode ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso, bem como para uma simulação contínua de longo prazo (Rossman, 2012).

O módulo relativo ao escoamento superficial trabalha com as bacias de contribuição que recebem a precipitação e geram o escoamento e cargas poluidoras. O módulo transporte simula o percurso das águas provenientes do escoamento superficial por meio de um sistema composto por condutos, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento, elementos de regulação e bombas (Rossman, 2012)

Segundo Rossman (2012), desde a sua criação, o SWMM tem sido utilizado em milhares de estudos de drenagem, tanto de águas residuais quanto de águas pluviais. Entre as aplicações típicas podem-se mencionar:

- Concepção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem para controle de inundações;
- Dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios para o controle de inundações e a protecção da qualidade das águas;
- Delimitação de zonas de inundação em leitos naturais;
- Concepção de estratégias de controlo para minimizar o transbordamento de sistemas unitários e mistos;
- Avaliação do impacto de contribuições e infiltrações sobre o transbordamento de sistemas de drenagem de águas residuais;
- Geração de poluição difusa para estudos de lançamento de efluentes (carga de contaminantes);

- Avaliação das boas práticas de manejo para reduzir o carreamento de poluentes durante a chuva.

Os resultados de cálculo disponibilizados pelo SWMM são relativos a:

- **Processos hidrológicos:** simulação do processo chuva-vazão na área de estudo, cálculo da infiltração para as camadas não saturadas do solo, evaporação.
- **Processos hidráulicos:** simulação do escoamento na rede, modelagem de reservatórios de retenção, estação de bombeamento, vertedores.
- **Análise da qualidade da água:** simulação de acumulação e remoção de cargas poluentes na área de estudo, propagação de contaminantes na rede de drenagem de 58 águas pluviais, atenuação da carga de contaminante por meio da simulação de processos de tratamento (Cabral, et al., 2009).

Tendo em vista o objectivo deste trabalho, o SWMM foi utilizado para confrontar os resultados obtidos no dimensionamento, no que diz respeito a vazão, velocidades e inclinações nos colectores.

7. MATERIAIS E MÉTODOS

7.1. . Descrição da área de estudo

O distrito de Chókwè está situado a Sul da província de Gaza, no curso médio do rio Limpopo, tendo como limites a Norte o rio Limpopo que o separa dos distritos de Massingir, Mabalane e Guijá, a Sul o distrito de Bilene e o rio Mazimuchope por distrito de Bilene, Chibuto e Xai-Xai, a Este confina com os distritos de Bilene e Chibuto e a Oeste com os distritos de Magude e de Massingir (MAE, 2014).

As estruturas de drenagem do município, na sua maioria encontram-se localizadas no primeiro bairro, e estas encontram-se na sua maior parte, em condições avançadas de degradação devido a falta de manutenção da mesma.

Segundo MAE (2014), é considerado dia com precipitação aquele com precipitação mínima líquida ou equivalente a líquida de 1 milímetro. A probabilidade de dias com precipitação em Chókwè varia significativamente ao longo do ano. Com isso, por mais que verifica-se altas temperaturas em maior período do ano, o sistema de drenagem é de crucial importância, pois é impossível executar um projecto de drenagem apenas quando estivermos diante de uma enxurrada.

O sistema de drenagem do primeiro bairro não cobre toda a área da mesma, apenas cerca de 78.6ha da área total é drenada (Figura 8), actualmente apresentando sérios problemas do seu desempenho também relacionada a falta de manutenção, a Figura 7 ilustra o estado actual de algumas estrutura e condições de após uma precipitação.



Figura 6. Estado de alguns sumidouros de guia 19h após a precipitação **a)** e **b)**.

A delimitação da área de estudo é apresentada na figura 8, em que a delimitação a vermelho representa a área de estudo e a verde, a área total do primeiro bairro de Chókwè.



Figura 7. Delimitação da área em estudo.

7.2. Caracterização do Sistema de Drenagem existente

Um sistema de drenagem urbana é composto por vários elementos anteriormente referidos na secção 2.8.1, contudo, para a sua análise, é necessário que se conheça as características dos seus componentes.

A caracterização de um sistema de drenagem, consiste essencialmente em conhecer o tipo, seus componentes e as respectivas especificações.

Quando se tem o projecto torna-se simples conhecer as características, sendo nesse caso apenas necessário confrontar os dados existentes no projecto com a realidade do terreno. Caso não haja o projecto, deve-se fazer as medições no local em que o sistema se encontra instalado caso haja condições de acessibilidade.

7.2.1. Recolha dos dados do sistema existente

Dada a indisponibilidade do projecto do actual sistema de drenagem existente, foi realizado o levantamento das câmaras de visita e sumidouros possíveis de ver, para um posterior mapeamento

da área e o devido sistema, com o objectivo criar uma base de dados. A Figura 10 ilustra a localização dos referidos componentes. O levantamento das estruturas foi realizado por meio de GPS da marca *Garmin* (*Montana 680*).

Devido a obstrução do maior número de componentes do sistema (Figura 8 e 9), foi impossível fazer-se a medição das inclinações dos colectores. De salientar que as estruturas que constam no mapeamento, são as que foram possíveis observar mesmo com o actual estado do sistema, admitindo a possibilidade de ainda existir outras estrutura, mas que devido a degradação do sistema ficaram totalmente obstruída e impossíveis de vê-los.

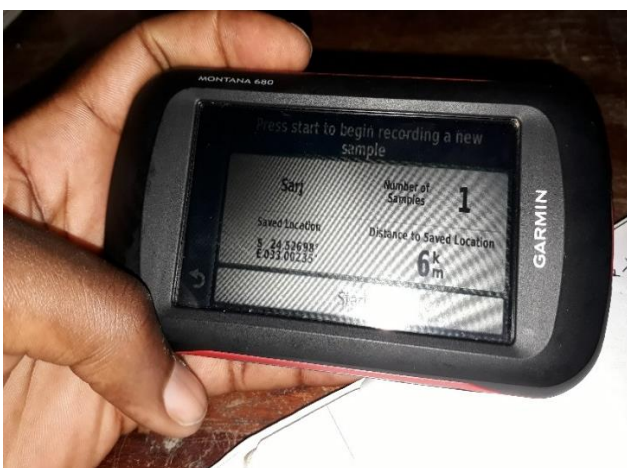


Figura 8 e 9. Material usado para o levantamento das estruturas do sistema existente.



Figura 9. Obstrução dos sumidouros por lixo



Figura 10. Sumidouros obstruídos por lixo e vegetação

7.3. Análise da eficiência do sistema de drenagem existente

A análise do desempenho de qualquer infra-estrutura, quer seja hidráulica ou não, parte da observação do aspecto na qual a obra se apresenta.

Para a análise da eficiência, recorreu-se a priori a mapas topográficos gerados por ArcMap de forma a compreender as linhas de fluxo das águas superficiais.

7.4. Determinação dos parâmetros hidrológicos da área de estudo

O caudal do projecto constitui o principal parâmetro hidrológico para estudos de drenagem urbana, para a sua determinação, é necessário que se conheça as áreas contribuintes para o qual pretende-se escoar o caudal e é também necessário que se conheça o regime pluviométrico de modo a identificar o evento mais gravoso, associado a este são necessários outros dados de entrada que serão descrito no decorrer deste capítulo,

7.4.1. Áreas de contribuição

A falta de base de dados, associados a fraca severidade no ordenamento urbano, comprometem a eficiência nos estudos de benefício da comunidade. Dos dados destaca-se a orientação das linhas do fluxo em uma dada residência, portanto, com recurso ao ArcMap 10.6 foram produzidas as curvas de níveis referentes a cada lote de residências, de modo a se conhecer os pontos baixos do terreno.

7.4.2. Caudal do projecto

Segundo FCTH (1999), Para bacias de drenagem que não apresentam complexidade e que tenham áreas de drenagem inferiores a aproximadamente 3 km² é recomendado que a descarga de projecto seja analisada pelo denominado Método Racional. Embora criticado por sua simplicidade, é um método largamente aceito e conduz a resultados satisfatórios, quando aplicado dentro de seus limites de validade.

7.4.3. Precipitação do projecto

A precipitação do projecto será determinada com base na análise de uma série de dados correspondentes a 48 anos. A máxima precipitação nesta série, será usada como a precipitação do projecto, este que permitirá calcular o caudal.

7.4.4. Intensidade de precipitação

Dada a inexistência das curvas Intensidade Duração e Frequência (IDF) para a maioria dos distritos como é o caso de Chókwè, o Regulamento dos Sistemas de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais (RSPDADAR) em seu anexo 11- curvas Intensidade-Duração-Frequência apresenta os procedimentos para o cálculo da intensidade de precipitação de projecto, que consiste no seguinte:

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 à região pluviométrica em causa.*

$$I \text{ (mm/h)} = a * t \text{ (min)}^b \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

T- período de retorno (anos);

I- intensidade de precipitação (mm/h);

a,b- parâmetros adimensionais;

t- duração (min)

Sendo que a e b obtidos pela tabela 4:

Tabela 4. Valores de a e b para diferentes períodos de retorno

<i>T (anos)</i>	<i>2</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>25</i>	<i>50</i>
A	534	694.504	797.3841	896.5751	930.8815	1026.694
B	-0.6075	-0.59383	-0.5869	-0.58197	-0.58119	-0.5774

Fonte: Adaptado do RSPDADAR

Dada a inexistência da duração da chuva na estação onde foram colectados os dados, foi adoptado a duração de 180 minutos, que considerando que todas áreas contribuintes são impermeáveis, pode-se seguir com os cálculos. Modificando a expressão da intensidade de precipitação fica:

$$I \text{ (mm/h)} = (a * t \text{ (min)}^b) * 0.7 \quad \text{Eq. (4.1)}$$

Em que 0.7 é o coeficiente K de acordo com a região pluviométrica de Chókwè (figura 20 em anexo).

O cálculo do caudal deve ser referentes as áreas efectivas do colector, desta forma, foi usado o método racional para o cálculo (os resultados serão apresentados na Tabela dos resultados).

7.5. Dimensionamento dos componentes do sistema

Para se poder dimensionar as componentes de um sistema de drenagem, é necessário antes que se conheça a sua localização e o número das referidas componentes, estes por sua vez, devem estar dispostos no traçado da rede.

O traçado da rede drenagem, compreende o principal procedimento para o dimensionamento dos sistemas de drenagem pluvial. Este traçado pode ser feito por meios que satisfaçam a vontade do projectista. Com o avanço tecnológico, este procedimento torna-se cada vez mais simples, podendo fazê-lo em diversos *softwares* como é o caso do AutoCad, Google Earth, entre outros.

O traçado da rede neste trabalho foi feito por meio do EPA SWMM 5.1 apoiado por imagens de satélite do Google Earth.

7.5.1. Dimensionamento dos colectores

Considerou-se que o escoamento será em secção cheia, desta forma a relação altura da lâmina da água e o diâmetro ($h/D=a$) é igual a 1, determina-se o diâmetro mínimo que cumpre todas as imposições regulamentares. As equações que serão apresentada a seguir foram obtidas no livro de *Hidrologia urbana: Sistemas de drenagem de águas Pluviais urbanas*.

$$\theta = 2. \text{acos}(1 - 2. a) \quad \text{Eq. (5)}$$

$$DvR = \sqrt{\frac{8.Qmax}{vmaxR.(\theta - \sin(\theta))}} \text{ (diâmetro mínimo para a velocidade regulamentar)} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$DiR = \left(\frac{20.159.Qmax}{Ks.\sqrt{imaxR}}\right)^{\frac{3}{8}} \cdot \frac{\theta^{1/4}}{(\theta - \sin(\theta))^{\frac{5}{8}}} \text{ (Diâmetro mínimo para a inclinação regulamentar)} \quad \text{Eq. (7)}$$

O diâmetro do colector, D, deve ser maior entre o D_{vR}, D_{iR} e o diâmetro mínimo regulamentar que é 200 mm.

Tendo sido definidos os diâmetros dos colectores a utilizar com base nos critérios de dimensionamento regulamentares, segue-se a etapa que consiste em estabelecer um intervalo de inclinações cuja implantação permitirá verificar automaticamente os critérios referidos.

i. Critério da altura máxima da lâmina líquida

Após definido o diâmetro a utilizar, foi estabelecido um intervalo de inclinações que verifique os critérios referidos. Assim sendo, foi estabelecida a inclinação mínima com o critério de altura máxima da lâmina líquida pela seguinte expressão:

$$\theta = 2. \operatorname{acos}(1 - 2. a) \quad \text{Eq. (5)}$$

$$i_{\text{mín}h} = \left[\frac{20.159. Q_{\text{máx}}. \theta^{2/3}}{K_s. D^{\frac{8}{3}}. (\theta - \sin(\theta))^{5/3}} \right]^2 \quad \text{Eq. (8)}$$

ii. Critério de velocidade mínima

O critério de velocidade permite estabelecer outra condição de inclinação mínima, foi usada a expressão abaixo:

$$(\theta - \sin \theta) = \left(\frac{8Q_{\text{mín}}}{D^2. V_{\text{mín}R}} \right) \quad \text{Eq. (9)}$$

$$i_{\text{mín}v} = \left[\frac{20.159. Q_{\text{mín}}. \theta^{2/3}}{K_s. D^{\frac{8}{3}}. (\theta - \sin(\theta))^{5/3}} \right]^2 \quad \text{Eq. (10)}$$

iii. Critério de velocidade máxima

O critério da velocidade máxima impõe a inclinação máxima, sendo este o último critério para a inclinação.

$$(\theta - \sin \theta) = \left(\frac{8Q_{\text{mín}}}{D^2. V_{\text{mín}R}} \right) \quad \text{Eq. (11)}$$

$$imáxv = \left[\frac{20.159. Qmáx. \theta^{2/3}}{Ks. D^3. (\theta - \sin(\theta))^{5/3}} \right]^2 \quad Eq. (12)$$

Feitos os cálculos das inclinações dos colectores, deve-se determinar as inclinações mínimas e máximas de modo a verificar com o recomendável (mínima de 0.3% e máxima de 15%), a inclinação mínima será a máxima entre $imính$, $imínv$ e $imínR$ e a máxima será a maior entre a $imáxv$ e $imáxR$, portanto a inclinação do colector terá que cumprir com o seguinte: $imín \geq imín$ e $icolector$ (inclinação do colector) $\leq imáx$.

7.5.2. Implantação dos colectores

A implantação de colectores consistiu em considerar o recobrimento mínimo dos colectores que segundo RSPDADAR deve ser de 1,0 m e calcular o recobrimento a montante e a jusante do colector e ainda calcular a inclinação do colector.

$$R_{\min jus} = R_{\min mont} + L(i_{\min} - i_{\text{terreno}}) \quad Eq. (13)$$

$$i_{col} = \frac{R_{\min jus} - R_{\min mont}}{L} + i_{\text{terreno}} \quad Eq. (13.1)$$

7.5.3. Cálculo das condições do escoamento

Após o dimensionamento e a implantação dos colectores, foram fixados os diâmetros, de seguida, para cada caudal (mínimo e máximo) foi calculado as condições do escoamento mínimas e máximas.

A velocidade mínima e máxima foi calculado recorrendo-se ao método de Newton, que é um método numérico iterativo para determinar as raízes de uma equação não explicitável.

O método de Newton requer que se arbitre um valor inicial para o ângulo do centro θ ; para garantir estabilidade numérica e rapidez na convergência, antes da sua aplicação, efectua-se uma pesquisa do valor inicial de θ . Parra cadda incremento da inclinação do colector, determina-se um novo valor de, a partir do qual se calculam a velocidade ou poder de transporte. O processo iterativo termina quando se atingirem os critérios de projectos requeridos (SOUSA, PROJECTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS COMUNITÁRIAS, sd).

$$\theta_{n+1} = \sin\theta_n + 6.063 \left(\frac{Q}{K_s \sqrt{i}} \right)^{0.6} D^{-1.6} \theta_n^{0.4} \quad \text{Eq. (14)}$$

Após o cálculo do ângulo de centro, calculou-se a altura de escoamento, a área molhada, o perímetro molhado e o raio hidráulico pelas seguintes equações:

$$P = \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \quad \text{Eq. (15)}$$

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \sin \theta) \quad \text{Eq. (16)}$$

$$R_h = \frac{D(\theta - \sin \theta)}{4\theta} \quad \text{Eq. (17)}$$

7.5.4. Dimensionamento de sumidouros de guia

O dimensionamento dos sumidouros foi antecedido da adoção das configurações da valeta, usando as configurações descritas por NETTO (1998) pag.546, obtendo uma altura de 0.15 m das guias e 0.13 m de enchimento máximo. A declividade transversal foi de 3%, usando um padrão para as ruas com uma largura de 10 m. Desta forma, a área molhada, o perímetro e o raio hidráulico são de: 0.280 m²; 4.432 e 0.063 m respectivamente.

A capacidade hidráulica das valetas foi obtida por meio da equação de Manning com um coeficiente de rugosidade de 0,015 para asfalto.

$$Q = \frac{A}{n} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot I^{1/2} \quad \text{Eq. (18)}$$

Sendo que a capacidade de escoamento na valeta não deve ser inferior ao caudal a ser escoado, fez-se a verificação desta condição.

Segundo Butler & Davies (2001), o critério mais simples para o espaçamento dos dispositivos de entrada é admitir um espaçamento máximo de 50 m entre os órgãos de entrada ou arbitrar uma área máxima de 200 m² a drenar por cada dispositivo.

De seguida calculou-se o comprimento da abertura do sumidouro pela equação seguinte:

$$L = \frac{Q}{1.17H^{3/2}} \quad \text{Eq. (19)}$$

Onde:

L- comprimento da abertura; e

H- altura da água nas proximidades (m), 0,13 m para caso do trabalho.

Tendo o comprimento da abertura e o número dos órgãos calculados, dividiu-se L pelo número de órgão considerando ainda que devem estar em ambos lados do arruamento.

7.5.5. Câmaras de visita

Segundo o artigo 140 do RSPDADAR a menor dimensão útil em planta de uma câmara de visita não deve ser inferior a 1,00 ou 1,25 m para profundidades inferiores ou, iguais ou superiores a 2,5 m, respectivamente.

7.5.6. Ramais de ligação

O número de ramais de ligação é igual ao número de dispositivos de entrada existentes no sistema. Os ramais de ligação terão o mínimo diâmetro recomendado pelo artigo 148 do RSPDADAR. O diâmetro será de 200 mm.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização do sistema de drenagem existente

O sistema de drenagem existente é unitário, e dadas as condições de degradação que observou-se no local, optou-se nesse trabalho, dimensionar um sistema de drenagem apenas para águas pluviais e o sistema existente poderá ser ajustado para o esgoto sanitário, tendo deste modo um sistema separativo em todo o primeiro bairro da cidade.

Segundo o artigo 90 do RSPDADAR, na concepção de sistemas de drenagem em novas áreas de urbanização deve ser adoptado, preferencialmente, o sistema separativo. Neste caso, deverá sempre procurar-se a implantação de uma rede pluvial de extensão mínima.

O uso do sistema separativo de drenagem em áreas urbanas como é o caso de Chokwe, trará consigo uma enorme vantagem pois devido ao alto custo no tratamento de esgoto para o reúso no sistema unitário, apenas far-se-ia o tratamento das águas provenientes do escoamento do sistema para o abeberamento de gados e uso agrícola, que acarreta menos custo em relação ao tratamento das águas negras.

4.1.1. Mapeamento do sistema

Os dados colhidos pelo GPS forma digitalizados no *Microsoft Excel* e posteriormente exportados para o *Google Earth*, obtendo-se assim o mapa com a localização das componentes do sistema. Esse mapeamento foi feito de modo a criar uma base de dados do actual sistema. A Figura 12 ilustra o mapeamento de sumidouros e câmaras de visita possíveis de ver no terreno.



Figura 11. Estruturas georreferenciadas do sistema de drenagem.

4.2. Eficiência do sistema de drenagem existente

Feito a análise da inclinação do terreno com recurso ao material topográfico, observou-se que a medida que aproximava-se ao filtro do sistema de drenagem, o terreno tendia a cotas superiores. Com recurso ao *Google Earth*, *GPS Visualizer* e *ArcMap 10.6* foi possível criar um mapa da área total de interesse com o sentido do fluxo. O mapa abaixo mostra-nos que o escoamento superficial das águas pluviais é no sentido contrário ao filtro que onde todo o sistema converge para o destino final. As inconveniências técnicas que os olhos são capazes de detectar no local em que a obra se encontra instalada, ligadas ao sentido de escoamento olhando para a topografia local possibilitam compreender que o escoamento torna-se impossível para o desembocador actual nessas condições.

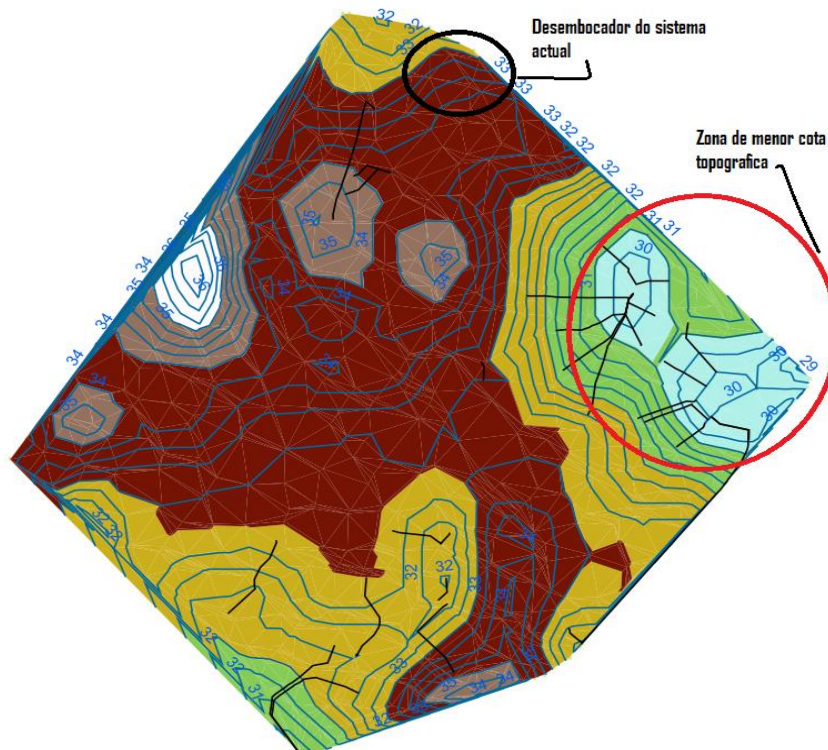


Figura 12. Mapa ilustrativo do desembocador actual pela topografia local.

Uma solução técnica económica de implantação do sistema seria que o destino final do esgoto fosse definido pelas linhas de contornos e sentido de fluxo no mapa.

Acredita-se que uma intervenção para a manutenção do sistema actual, será mais oneroso, não apenas pela condição topográfica no qual a área se encontra, mas também pelas estradas que são construídas por cima de algumas câmaras visitáveis, tal como ilustra a figura 18.



Figura 13. Câmara visitável aparentemente submerso no asfalto.

4.3. Determinação dos parâmetros hidrológicos da área de estudo

4.3.1. Áreas de contribuição

A figura a seguir refere-se a topografia do recinto da escola secundária de Chókwè, observa-se que a cota mais baixa 33 m e representado pela cor azul e a maior cota representada pela cor cinzenta.

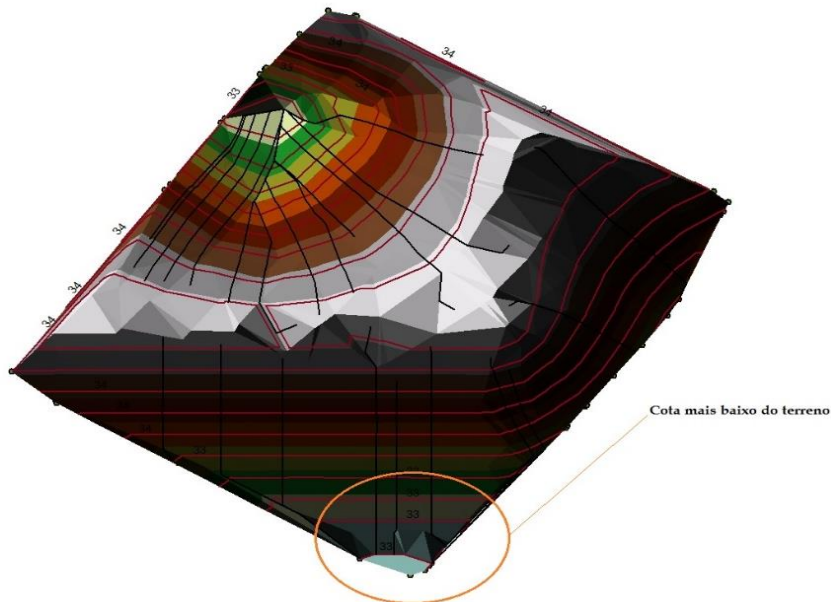


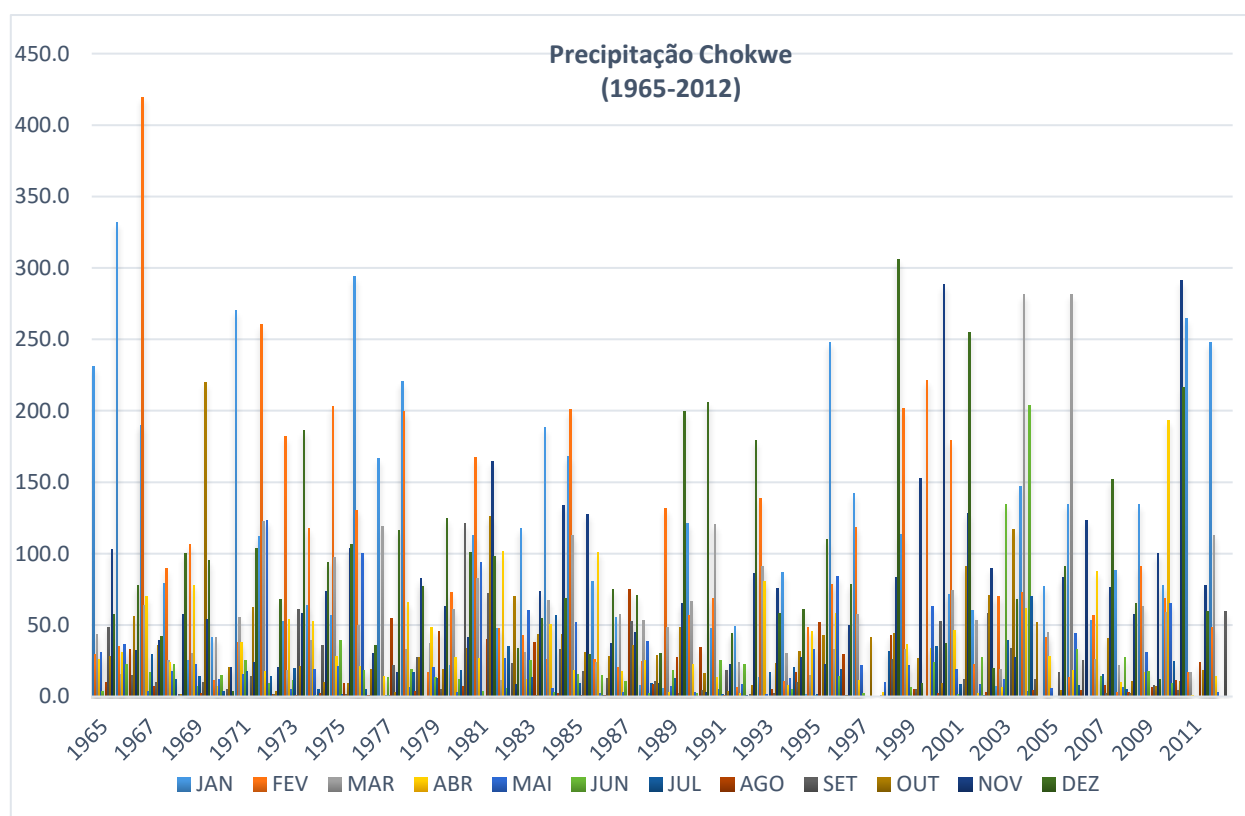
Figura 14. Topografia referente ao jardim da cidade de Chókwè.

O escoamento da água em um terreno parte da cota mais baixa, para a mais alta. Deste modo, este procedimento foi-se repetido para as demais áreas de contribuição.

4.3.2. Precipitação do projecto

Foram analisadas dados históricos de precipitação fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INAM), de modo a conhecer a maior precipitação registada. Os dados foram referentes a 48 anos e verificou-se que o maior evento pluviométrico foi de 419,6 mm no ano de 1967.

Gráfico 1. Precipitação do distrito de Chokwe entre 1965 a 2012.



Fonte: INAM

4.3.3. Caudal do projecto

Como referido anteriormente, o caudal é o principal dado para o início de um projecto de drenagem urbana. Sendo conhecida a precipitação do projecto, adoptou-se uma duração de 180 min para a precipitação de 419.6 mm (gráfico 1), e um período de retorno de 5 anos (tabela 3). Recorrendo

aos valores de a e b (tabela 4), determinou-se a intensidade máxima da precipitação (equação 4.1), obtendo o valor de 22,26 mm/h..

Conhecendo-se a I_{max} e adoptando-se o valor de 0.40 do coeficiente de escoamento superficial referente as residências isoladas, calculou-se o caudal (equação 3) de cada área de contribuição e os resultados são apresentados na tabela 6 em anexo.

4.4. Dimensionamento dos componentes do sistema de drenagem

4.4.1. Traçado da rede de drenagem

No traçado (Figura 16) as câmaras de visita são designados por CV, os colectores por C e o desembocador do sistema por OUT1.

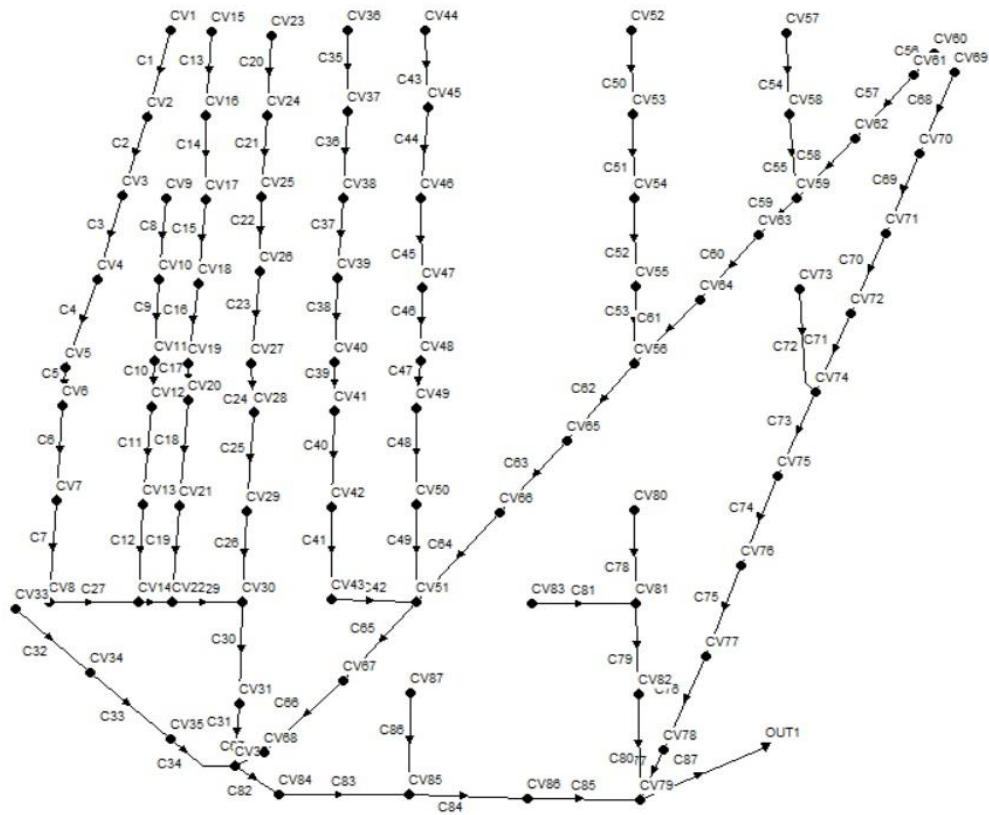


Figura 15. Traçado da rede de drenagem

4.5. Diâmetros dos colectores

Foram estabelecidas as condições regulamentares (Tabela 5) e os dados de entrada para o dimensionamento dos colectores, de seguida a aplicação das equações descritas no Capítulo 3.4 deste trabalho.

Tabela 5. Condições regulamentares e dados de entrada para o cálculo do diâmetro dos colectores.

<i>Velocidade mínima (m/s)</i>	0.9
<i>Velocidade máxima (m/s)</i>	5
<i>Inclinação mínima (%)</i>	0.3
<i>Inclinação máxima (%)</i>	15
<i>Tempo de entrada nos colectores (min)</i>	10
<i>Diâmetro nominal mínimo (mm)</i>	200
<i>Caudal de Autolimpeza (l/s):</i>	
- % Do caudal de cálculo	30
- Valor mínimo (l/s)	5
<i>Peso específico da água (N/m³)</i>	9800
<i>Curva I-D-F:</i>	
<i>a =</i>	694.5044
<i>b =</i>	-0.59383

Os resultados do dimensionamento dos colectores apresentam-se em anexo na Tabela 7, e os elementos de implantação dos colectores são apresentados na Tabela 8.

4.6. Resultados da simulação do sistema dimensionado

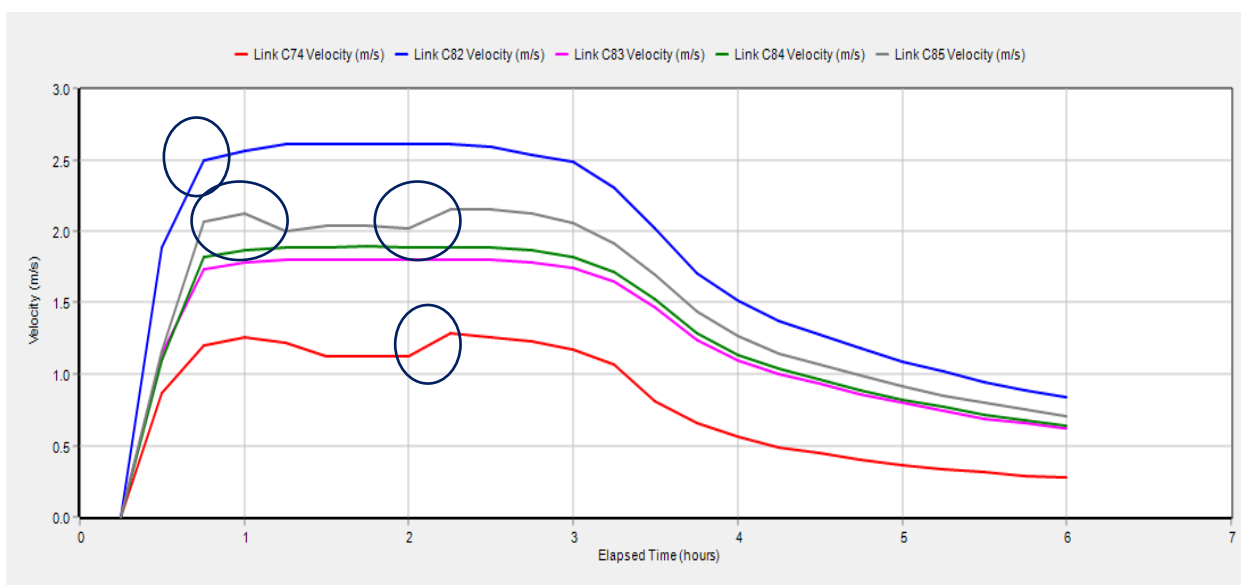
O Storm Water Management Model - SWMM foi utilizado na simulação hidrológica e hidráulica das redes de drenagem de águas pluviais do local de estudo com o intuito de confrontar os resultados obtidos no cálculo referente aos colectores e características das câmaras de visita. O modelo SWMM foi seleccionado por ser um programa computacional com código aberto e interface amigável, além de ser amplamente utilizado em estudos referente a drenagem urbana.

O relatório da simulação detectou os C74 (3) C82 (4) C83 (3) C84 (3) e C85 (3) como colectores de maior instabilidade (ver *Relatório estatístico da simulação* em anexo).

4.6.1. Instabilidade de fluxo

O excesso de velocidade em um conduto é o principal indicador de instabilidades no escoamento, por sua vez, a velocidade em um sistema de gravidade é causada pela inclinação do colector. O gráfico 2 apresenta os valores de velocidades para os referidos colectores.

Gráfico 2. Variação da velocidade nos colectores com maiores índices de instabilidade



Observando o gráfico acima, observa-se que a instabilidade do fluxo ocorre quando se atinge o pico da velocidade, isto é, quando estamos perante o pico da precipitação. A velocidade máxima nesses colectores varia de 1.6 a 2.7 m/s por sua vez, o RSPDADAR recomenda até 5 m/s. Visto que nas instabilidades não ocorrem grandes variações da velocidade, optou-se em despreza-la.

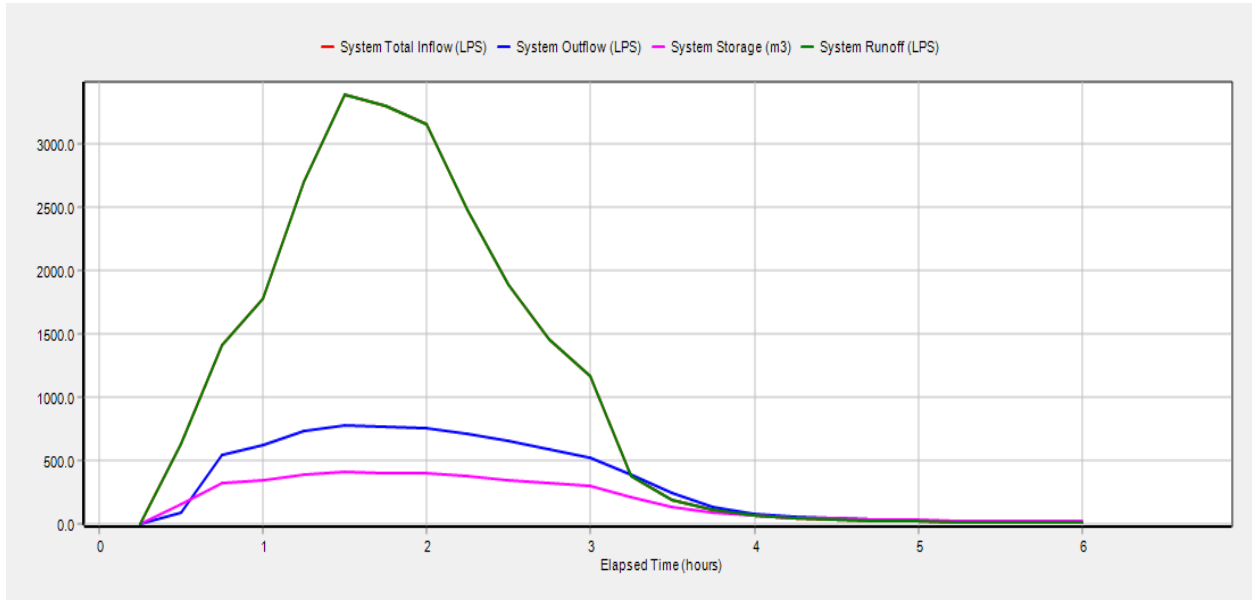
4.6.2. Análise geral do sistema

Em condições normais o sistema de drenagem deve ser capaz de escoar todo volume precipitado, mas este critério não é geralmente satisfeito. O gráfico 3 relaciona as afluências totais do sistema, as saídas, o armazenamento e o escoamento do volume precipitado.

Nota-se que o gráfico das entradas no sistema iguala-se ao gráfico do escoamento, ou seja, toda a precipitação é escoada, permitindo que a percentagem de infiltração seja igual a zero. Esta medida visou preparar o sistema para as situações mais críticas possíveis.

Um ponto importante é que toda a precipitação é retirada pelo sistema, em no máximo 6 horas após o início duma chuva de 419.6 mm com duração de 180 minutos.

Gráfico 3. Comportamento do sistema durante a precipitação



5. DISCUSSÃO

5.1. Eficiência do sistema de drenagem existente

A metodologia usada para a análise da eficiência foi uma medida experimental correctiva suscitada pela falta de dados do projecto e a inacessibilidade dos órgãos do sistema. Com isso, apresenta muitas limitações para casos em foram verificados cuidadosamente a topografia. A limitação refere-se a ausência de um relatório mais detalhado da situação nos troços e nos restantes órgãos de drenagem, contudo ela pode ser usada para situações similares a do presente trabalho.

A questão da inclinação deficiente no sistema de drenagem foi também observada por Langa (2017), quando avaliava a eficiência do sistema de drenagem das águas pluviais no primeiro e segundo bairro da cidade de Chókwè.

5.2. Dimensionamento hidráulico

Todo o dimensionamento hidráulico foi baseado nos critérios de dimensionamento orientados pelo Regulamento de Sistemas de Distribuição de água e Drenagem de águas Pluviais. O menor diâmetro do colector dimensionado foi de 200 mm e o maior de 800 mm, ambos cumprem com os critérios regulamentares no que tange as inclinações e velocidades mínimas e máximas. A menor inclinação nos colectores foi de 0.3% e uma máxima de 1.073%, para as velocidades a mínima foi de 0.9 e máxima de 4.78 m/s obedecendo assim os critérios de inclinação de 0.3% e 15% e velocidade de 0.9 e 5 m/s para a máxima e mínima.

A adopção do diâmetro das camaras de visita coadjuvam com o recomendado pelo RSPDADAR, o qual cita que para profundidades menores ou igual a 2.5 m, o diâmetro deverá ser de 1 m.

5.3. Resultados da simulação

As instabilidades de fluxo em um sistema por gravidade é gerada pela deficiente inclinação e esta pode ser observada pela velocidade. Segundo Rossman (2012), as séries temporais de fluxo, para o trecho com maior índice de instabilidade, devem ser analisadas para garantir que os resultados da propagação dos fluxos sejam estáveis de modo aceitável. Desta feita observando o Gráfico 2, nota-se que a variação da velocidade nos trechos instáveis não é alarmante, desta forma, ignorou-se aspecto pois olhando para o Gráfico 3, nota-se que todo o caudal precipitado é escoado.

6. CONCLUSÃO

O redimensionamento deste sistema visa atender as necessidades de escoamento do caudal máximo para uma precipitação de até 419,6 mm, a máxima verificada nos períodos de 1965 a 2012, e uma intensidade de 22,26 mm/h.

Existe uma fraca severidade na recolha dos dados pluviométricos a nível do distrito, o que contribui para a qualidade de um projecto hidráulico no geral, em especial a projectos ligados a drenagem urbana. Estudo relacionados a curvas I-D-F de cada distrito deve ser levado a cabo de modo que haja mais fiabilidade nos dados locais.

Para o presente trabalho, considerou-se que toda área de estudo contribui para o escoamento do no sistema, o que significa que considerou-se uma situação em que toda a área é impermeável, o que condiciona o não transbordamento de água no sistema devido a falta de capacidade de escoamento por parte dos colectores.

De modo a cumprir com os critérios regulamentares para a velocidade, foi necessário fazer-se as alterações nos diâmetros de alguns colectores, essa alteração consistiu em aumentar ou diminuir em colectores que a velocidade passava dos 5 m/s recomendados. O cumprimento das velocidades e inclinações mínimas recomendadas para o sistema, irá permitir que não haja deposição dos sedimentos no sistema e ao mesmo tempo, o aspecto da velocidade máxima permite que não haja a corrosão dos colectores.

O dimensionamento do sistema associado a simulação do mesmo permite claramente compreender que para a chuva do projecto o sistema conseguirá responder positivamente, devendo-se criteriosamente ser acompanhado o processo de implantação com o plasmado nas tabelas referentes aos colectores, câmaras de visita e dispositivos de entrada em anexo.

7. RECOMENDAÇÕES

Após todos os capítulos arrolados nesse trabalho, foi possível observar questões que necessitam de uma intervenção imediata, recomenda-se:

- Ao Conselho Municipal de Chókwè (CMC): ao invés de gastos na manutenção do sistema de drenagem actual, criar condições de implementação de um novo sistema de drenagem para as águas pluviais. Facto ainda que enfatiza essa necessidade é a presença de tractores com tanques recolectores de águas negras nas vias do município. Recomenda-se ainda que se paralise com as obras de pavimentação das estradas pois estas aumentarão o custo para a implantação de um novo sistema de drenagem.
- Que estudos similares se façam nos demais bairros do município, pois carecem deste melhoramento;
- Para o bom funcionamento do sistema deverá criar-se condições de modo que todas áreas contribuintes direccionem o escoamento aos arruamentos e adequar as inclinações aos do projecto;
- A Implantação de uma bacia de retenção para o reaproveitamento das águas pluviais no desembocador do sistema.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- i. BOLDRIN, A. J. (2014). *AValiação DO DESEMPENHO HIDRÁULICO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS*. Campinas.
- ii. BR, B. d. (2003). *Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais- RSPDADAR*. Maputo.
- iii. BUTLER, D., & DAVIES, J. (2011). *Urban drainage* (3 ed.). London and New york: Taylor & Francis.
- iv. Cabral, J., B.Mascarenhas, F., Castro, M. A., Miguez, M. G., Peplau, G. R., & Bezerra, A. A. (2009). *Modelos Computacionais para Drenagem Urbana*. Rio de Janeiro: ABES.
- v. Cardoso, M. A. (2008). *AValiação DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA*. Lisboa.
- vi. FCTH, F. C. (1999). *DIRETRIZES BÁSICAS PARA PROJETOS DE DRENAGEM URBANA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO*. SÃO PAULO.
- vii. FUNASA. (2007). *Manual de Saneamento*. (A. d. Saúde, Ed.) Brasília.
- viii. IPH, I. d., & UFRGS, U. F. (2005). *PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA. Manual de Drenagem Urbana*.
- ix. KOLSKY, P., & BUTLER, D. (2002). *Performance indicators for urban storm drainage in developing countries*.
- x. Langa, J. A. (2017). *Avaliação da operação e eficiência da rede de drenagem de águas pluviais: Caso do primeiro e segundo bairro da cidade de Chókwè*. Chókwè.
- xi. MAE, M. d. (2014). *Perfil do Distrito Do Chókwe, província de Gaza*.
- xii. Mano, E. R. (2008). *Estudo de Bacias de Retenção como solução para situações crescentes de urbanização. Dissertação de Mestrado*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- xiii. Marques, A. S., Lima, J. P., Simões, N. E., & Pina, R. (2013). *Hidrologia urbana - Sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas*. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas.
- xiv. Mata-Lima, H., Silva, E., & Raminhos, C. (2006). *Impactes de Projectos da Engenharia Civil na Hidrologia de Bacias de Drenagem. Como Gerir o Excesso do escoamento?*
- xv. Matias, M. G. (2006). *BACIAS DE RETENÇÃO- ESTUDO DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO- Dissertação*. Porto: Universidade do Porto.
- xvi. Mendonça, E. C. (2009). *Metodologia para avaliação de desempenho de Sistemas de Drenagem urbana*. Brasília.
- xvii. NETTO, J. M. (1998). *Manual de Hidráulica* (8 ed.). São Paulo-SP: Editora EDGAR BLUCHER Lda.
- xviii. Pinto, L. H., & Pinheiro, S. A. (2006). *Orientações Básicas para Drenagem Urbana*. Belo Horizonte.
- xix. PROSAB, P. d. (2009). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Rio de Janeiro.
- xx. RIGHETTO, A. M. (1998). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. São Carlos.
- xxi. RIO-ÁGUAS, S. d. (2010). *INSTRUÇÕES TÉCNICAS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS HIDROLÓGICOS E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA*. Rio de Janeiro.
- xxii. Rossman, L. A. (2012). *EPA SWMM 5.0 Modelo de Gestão de Drenagem Urbana: Manual do usuário*. Paraíba.
- xxiii. SEMARH, S. d. (2017). *MANUAL DE DRENAGEM URBANA*. MUNICÍPIO DE TOLEDO, Estado do Paraná.
- xxiv. SOUSA, E. R. (sd). *PROJECTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS COMUNITÁRIAS*.
- xxv. SOUSA, E. R., & MATOS, J. S. (sd). *PROJECTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS*.

- xxvi. Souza, V. C. (2002). *Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial. Tese de Pós-Graduação*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- xxvii. SPE, S. d. (2017). *Manual de Drenagem Urbana- Volume I*. Município de Toledo-Paraná.
- xxviii. SUDERHSA, S. d. (2002). *MANUAL DE DRENAGEM URBANA*. Região Metropolitana de Curitiba.
- xxix. VIEIRA, I. L. (2014). *Análise de Bacias de Retenção*. Madeira.

9. ANEXOS

Tabela 6. Valores do caudal para cada área de contribuição

Nº	Área efectiva (m ²)	Caudais (l/s)	
		Q _{min}	Q _{máx}
C 1	5800.00	10.76	35.86
C 2			
C 3	10800.00	20.03	66.78
C 4			
C 5	22500.00	41.74	139.12
C 6			
C 7			
C 8	6900.00	12.80	42.66
C 9			
C 10	20400.00	37.84	126.14
C 11			
C 12			
C 13	12600.00	23.37	77.91
C 14			
C 15	19900.00	36.91	123.05
C 16			
C 17	25100.00	46.56	155.20
C 18			
C 19			
C 20	10100.00	18.74	62.45
C 21			
C 22	22000.00	40.81	136.03
C 23			
C 24	42000.00	77.91	259.70
C 25			
C 26			
C 27	25800.00	47.86	159.53

C 28	46200.00	85.70	285.67
C 29	71300.00	132.26	440.87
C 30	126200.00	234.10	780.34
C 31			
C 32	31250.00	57.97	193.23
C 33			
C 34			
C 35	13900.00	25.78	85.95
C 36			
C 37	27400.00	50.83	169.42
C 38			
C 39	41400.00	76.80	255.99
C 40			
C 41			
C 42			
C 43	48200.00	89.41	298.04
C 44			
C 45	91400.00	169.55	565.16
C 46			
C 47	125600.00	232.99	776.63
C 48			
C 49			
C 50	31000.00	57.50	191.68
C 51			
C 52	36300.00	67.34	224.45
C 53			
C 54	8800.00	16.32	54.41
C 55			
C 56	3800.00	7.05	23.50
C 57	9500.00	17.62	58.74
C 58			

C 59	25400.00	47.12	157.06
C 60			
C 61			
C 62	61700.00	114.45	381.51
C 63			
C 64			
C 65	239600.00	444.46	1481.52
C 66			
C 67			
C 68	21300.00	39.51	131.70
C 69			
C 70	37200.00	69.01	230.02
C 71			
C 72	3700.00	6.86	22.88
C 73	98200.00	182.16	607.20
C 74			
C 75			
C 76	102800.00	190.69	635.65
C 77			
C 78	23800.00	44.15	147.16
C 79	47100.00	87.37	291.23
C 80			
C 81	7700.00	14.28	47.61
C 82	401250.00	744.32	2481.06
C 83			
C 84	428350.00	794.59	2648.63
C 85			
C 86	6700.00	12.43	41.43
C 87	578250.00	1072.65	3575.51

Tabela 7. Colectores dimensionados

Nº	Caudais (l/s)		Diâmetro (mm)	Inclinação (%)	Velocidades (m/s)				
	Mín.	Máx.			Verificação	Mín.	Verificação	Máx.	Verificação
C 1	10.76	35.86	250.00	0.6	OK!	1.09	OK!	1.02	OK!
C 2			250.00	0.3	OK!				
C 3	20.03	66.78	250.00	0.6	OK!	1.11	OK!	0.90	OK!
C 4			250.00	0.3	OK!				
C 5	41.74	139.12	300.00	0.5	OK!	1.73	OK!	1.35	OK!
C 6			300.00	0.3	OK!				
C 7			300.00	0.3	OK!				
C 8	12.80	42.66	250.00	0.6	OK!	1.11	OK!	1.05	OK!
C 9			250.00	0.3	OK!				
C 10	37.84	126.14	300.00	0.5	OK!	1.68	OK!	1.41	OK!
C 11			300.00	0.3	OK!				
C 12			300.00	0.6	OK!				
C 13	23.37	77.91	300.00	0.3	OK!	1.25	OK!	1.02	OK!
C 14			300.00	0.3	OK!				
C 15	36.91	123.05	300.00	0.3	OK!	1.38	OK!	1.05	OK!
C 16			300.00	0.3	OK!				
C 17	46.56	155.20	300.00	0.5	OK!	1.75	OK!	1.33	OK!
C 18			300.00	0.3	OK!				
C 19			300.00	0.9	OK!				
C 20	18.74	62.45	300.00	0.3	OK!	1.19	OK!	0.94	OK!
C 21			300.00	0.3	OK!				
C 22	40.81	136.03	300.00	0.3	OK!	1.46	OK!	1.12	OK!
C 23			300.00	0.3	OK!				
C 24	77.91	259.70	300.00	0.4	OK!	1.88	OK!	1.21	OK!
C 25			300.00	0.3	OK!				
C 26			300.00	1.1	OK!				
C 27	47.86	159.53	300.00	0.3	OK!	1.52	OK!	1.17	OK!

C 28	85.70	285.67	300.00	0.3	OK!	1.86	OK!	1.05	OK!
C 29	132.26	440.87	400.00	0.4	OK!	3.82	OK!	2.71	OK!
C 30	234.10	780.34	400.00	0.2	OK!	4.78	OK!	2.08	OK!
C 31			400.00	0.3	OK!				
C 32	57.97	193.23	300.00	0.3	OK!	1.52	OK!	1.06	OK!
C 33			300.00	0.4	OK!				
C 34			300.00	0.4	OK!				
C 35	25.78	85.95	250.00	0.6	OK!	1.17	OK!	0.98	OK!
C 36			250.00	0.3	OK!				
C 37	50.83	169.42	300.00	0.4	OK!	1.60	OK!	1.23	OK!
C 38			300.00	0.4	OK!				
C 39	76.80	255.99	300.00	0.3	OK!	1.70	OK!	0.99	OK!
C 40			300.00	0.3	OK!				
C 41			300.00	0.3	OK!				
C 42			300.00	0.4	OK!				
C 43	89.41	298.04	300.00	0.3	OK!	1.94	OK!	1.10	OK!
C 44			300.00	0.3	OK!				
C 45	169.55	565.16	400.00	0.3	OK!	3.74	OK!	2.16	OK!
C 46			400.00	0.5	OK!				
C 47	232.99	776.63	400.00	0.3	OK!	4.05	OK!	1.06	OK!
C 48			400.00	0.3	OK!				
C 49			400.00	0.7	OK!				
C 50	57.50	191.68	300.00	0.3	OK!	1.52	OK!	1.07	OK!
C 51			300.00	0.3	OK!				
C 52	67.34	224.45	300.00	0.3	OK!	1.62	OK!	1.05	OK!
C 53			300.00	0.3	OK!				
C 54	16.32	54.41	300.00	0.5	OK!	1.67	OK!	1.56	OK!
C 55			300.00	0.3	OK!				
C 56	7.05	23.50	300.00	0.3	OK!	1.19	OK!	1.04	OK!
C 57	17.62	58.74	300.00	0.4	OK!	1.47	OK!	1.39	OK!
C 58			300.00	0.3	OK!				

C 59	47.12	157.06	300.00	0.4	OK!	1.61	OK!	1.24	OK!
C 60			300.00	0.3	OK!				
C 61			300.00	0.3	OK!				
C 62	114.45	381.51	400.00	0.3	OK!	3.18	OK!	2.25	OK!
C 63			400.00	0.3	OK!				
C 64			400.00	0.3	OK!				
C 65	444.46	1481.52	300.00	0.4	OK!	4.78	OK!	1.22	OK!
C 66			300.00	0.6	OK!				
C 67			300.00	0.8	OK!				
C 68	39.51	131.70	300.00	0.4	OK!	1.50	OK!	1.14	OK!
C 69			300.00	0.3	OK!				
C 70	69.01	230.02	300.00	0.4	OK!	1.78	OK!	1.24	OK!
C 71			300.00	0.3	OK!				
C 72	6.86	22.88	300.00	0.4	OK!	1.35	OK!	1.17	OK!
C 73	182.16	607.20	400.00	0.7	OK!	3.51	OK!	0.97	OK!
C 74			400.00	0.3	OK!				
C 75			400.00	0.3	OK!				
C 76	190.69	635.65	400.00	0.3	OK!	3.73	OK!	1.04	OK!
C 77			400.00	1.0	OK!				
C 78	44.15	147.16	300.00	0.3	OK!	1.40	OK!	1.07	OK!
C 79	87.37	291.23	300.00	0.3	OK!	1.86	OK!	1.03	OK!
C 80			300.00	0.5	OK!				
C 81	14.28	47.61	300.00	0.3	OK!	1.25	OK!	1.18	OK!
C 82	744.32	2481.06	800.00	0.3	OK!	3.98	OK!	3.92	OK!
C 83			800.00	0.3	OK!				
C 84	794.59	2648.63	800.00	0.3	OK!	3.81	OK!	3.91	OK!
C 85			800.00	0.4	OK!				
C 86	12.43	41.43	300.00	0.4	OK!	1.42	OK!	1.31	OK!
C 87	1072.65	3575.51	800.00	0.4	OK!	4.73	OK!	4.69	OK!

Tabela 8. Elementos de implantação das câmaras de visita.

Nº	Cota do Terreno (m)	Cota de Soleira (m)	Profundidade da Soleira (m)	Diâmetro (m)
Cv1	34.40	33.17	1.23	1.00
Cv2	33.80	32.57	1.23	1.00
Cv3	33.55	32.31	1.24	1.00
Cv4	33.00	31.76	1.24	1.00
Cv5	32.70	31.47	1.23	1.00
Cv6	32.50	31.25	1.25	1.00
Cv7	32.20	30.95	1.25	1.00
Cv8	31.90	30.64	1.26	1.00
Cv9	33.55	32.29	1.26	1.00
Cv10	32.95	31.69	1.26	1.00
Cv11	32.70	31.43	1.27	1.00
Cv12	32.50	31.23	1.27	1.00
Cv13	32.20	30.92	1.28	1.00
Cv14	31.60	30.32	1.28	1.00
Cv15	34.00	32.72	1.28	1.00
Cv16	33.72	32.43	1.29	1.00
Cv17	33.45	32.16	1.29	1.00
Cv18	33.15	31.86	1.29	1.00
Cv19	32.90	31.60	1.30	1.00
Cv20	32.70	31.39	1.31	1.00

Cv21	32.40	31.09	1.31	1.00
Cv22	31.50	30.19	1.31	1.00
Cv23	34.00	32.68	1.32	1.00
Cv24	33.73	32.41	1.32	1.00
Cv25	33.40	32.08	1.32	1.00
Cv26	33.10	31.77	1.33	1.00
Cv27	32.80	31.46	1.34	1.00
Cv28	32.60	31.26	1.34	1.00
Cv29	32.25	30.91	1.34	1.00
Cv30	31.20	29.85	1.35	1.00
Cv31	30.95	29.60	1.35	1.00
Cv32	30.75	29.40	1.35	1.00
Cv33	31.70	30.34	1.36	1.00
Cv34	31.40	30.04	1.36	1.00
Cv35	31.00	29.64	1.36	1.00
Cv36	34.00	32.63	1.37	1.00
Cv37	34.00	32.63	1.37	1.00
Cv38	33.70	32.32	1.38	1.00
Cv39	33.35	31.97	1.38	1.00
Cv40	33.00	31.62	1.38	1.00
Cv41	32.87	31.48	1.39	1.00
Cv42	32.55	31.16	1.39	1.00
Cv43	32.30	30.91	1.39	1.00
Cv44	34.50	33.10	1.40	1.00

Cv45	34.20	32.80	1.40	1.00
Cv46	33.90	32.50	1.40	1.00
Cv47	33.62	32.21	1.41	1.00
Cv48	33.20	31.79	1.41	1.00
Cv49	33.05	31.64	1.41	1.00
Cv50	32.75	31.33	1.42	1.00
Cv51	32.00	30.58	1.42	1.00
Cv52	34.10	32.67	1.43	1.00
Cv53	33.80	32.37	1.43	1.00
Cv54	33.50	32.07	1.43	1.00
Cv55	33.20	31.76	1.44	1.00
Cv56	32.90	31.46	1.44	1.00
Cv57	34.50	33.06	1.44	1.00
Cv58	34.00	32.55	1.45	1.00
Cv59	33.70	32.25	1.45	1.00
Cv60	34.50	33.05	1.45	1.00
Cv61	34.40	32.94	1.46	1.00
Cv62	34.00	32.54	1.46	1.00
Cv63	33.50	32.04	1.46	1.00
Cv64	33.20	31.73	1.47	1.00
Cv65	32.60	31.13	1.47	1.00
Cv66	32.33	30.86	1.47	1.00
Cv67	31.60	30.12	1.48	1.00
Cv68	31.00	29.51	1.49	1.00

Cv69	33.10	31.61	1.49	1.00
Cv70	32.70	31.21	1.49	1.00
Cv71	32.40	30.90	1.50	1.00
Cv72	32.00	30.50	1.50	1.00
Cv73	32.20	30.70	1.50	1.00
Cv74	31.70	30.19	1.51	1.00
Cv75	31.00	29.49	1.51	1.00
Cv76	30.70	29.18	1.52	1.00
Cv77	30.40	28.88	1.52	1.00
Cv78	30.10	28.57	1.53	1.00
Cv79	29.60	28.07	1.53	1.00
Cv80	30.70	29.16	1.54	1.00
Cv81	30.40	28.86	1.54	1.00
Cv82	30.15	28.61	1.54	1.00
Cv83	30.70	29.15	1.55	1.00
Cv84	30.61	29.06	1.55	1.00
Cv85	30.30	28.75	1.55	1.00
Cv86	30.00	28.44	1.56	1.00
Cv87	30.70	29.45	1.25	1.00

Tabela 9. Dimensionamento dos dispositivos de entrada (sumidouros de guia)

Comprimento	Mont	Jus	I	Qmax	Qmax	Q	Verificação	L	N	N*2	L/N
(m)	(m)	(m)	%	(l/s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)					
99.80	34.40	33.80	0.4%	35.863	0.036	0.193	OK!	2.411	4	8	0.30
99.00	33.80	33.55									
95.40	33.55	33.00	0.4%	66.780	0.067	0.194	OK!	2.426	4	8	0.30
101.00	33.00	32.70									
40.40	32.70	32.50	0.3%	139.125	0.139	0.165	OK!	2.060	5	10	0.21
109.00	32.50	32.20									
107.00	32.20	31.90									
98.40	33.55	32.95	0.5%	42.665	0.043	0.199	OK!	2.481	4	8	0.31
89.40	32.95	32.70									
41.90	32.70	32.50	0.4%	126.140	0.126	0.194	OK!	2.422	5	10	0.24
113.00	32.50	32.20									
100.00	32.20	31.60									
101.00	34.00	33.72	0.3%	77.910	0.078	0.156	OK!	1.942	4	8	0.24
97.20	33.72	33.45									
97.90	33.45	33.15	0.3%	123.048	0.123	0.159	OK!	1.981	4	8	0.25
92.60	33.15	32.90									
40.60	32.90	32.70	0.5%	155.201	0.155	0.219	OK!	2.734	5	10	0.27
112.00	32.70	32.40									
102.00	32.40	31.50									
104.00	34.00	33.73	0.3%	62.452	0.062	0.162	OK!	2.023	4	8	0.25
95.30	33.73	33.40									
88.20	33.40	33.10	0.3%	136.033	0.136	0.166	OK!	2.076	4	8	0.26
101.00	33.10	32.80									
49.30	32.80	32.60	0.6%	259.700	0.260	0.234	KO!	2.922	5	10	0.29
107.00	32.60	32.25									
98.50	32.25	31.20									
84.50	31.90	31.60	0.4%	159.530	0.160	0.176	OK!	2.197	2	4	0.55
33.40	31.60	31.50	0.3%	285.670	0.286	0.162	KO!	2.018	1	2	1.01
67.50	31.50	31.20	0.4%	440.871	0.441	0.197	KO!	2.458	1	2	1.23

99.90	31.20	30.95	0.3%	780.336	0.780	0.156	KO!	1.941	3	6	0.30
62.50	30.95	30.75									
101.00	31.70	31.40	0.3%	193.229	0.193	0.174	KO!	2.176	5	10	0.22
108.00	31.40	31.00									
63.90	31.00	30.75									
97.30	34.00	33.40	0.2%	85.948	0.086	0.115	OK!	1.438	4	8	0.18
100.00	34.00	33.70									
92.00	33.70	33.35	0.4%	169.423	0.169	0.180	OK!	2.248	4	8	0.28
96.30	33.35	33.00									
47.50	33.00	32.87	0.3%	255.990	0.256	0.162	KO!	2.016	5	10	0.20
110.00	32.87	32.55									
96.30	32.55	32.30									
80.60	32.30	32.00									
90.30	34.50	34.20	0.3%	298.036	0.298	0.163	KO!	2.028	4	8	0.25
108.00	34.20	33.90									
101.00	33.90	33.62	0.4%	565.156	0.565	0.181	KO!	2.255	4	8	0.28
86.10	33.62	33.20									
49.20	33.20	33.05	0.5%	776.626	0.777	0.203	KO!	2.529	5	10	0.25
102.00	33.05	32.75									
104.00	32.75	32.00									
98.40	34.10	33.80	0.3%	191.683	0.192	0.163	KO!	2.030	4	8	0.25
99.60	33.80	33.50									
99.40	33.50	33.20	0.3%	224.455	0.224	0.166	KO!	2.075	4	8	0.26
90.00	33.20	32.90									
93.70	34.50	34.00	0.4%	54.413	0.054	0.188	OK!	2.346	4	8	0.29
104.00	34.00	33.70									
32.00	34.50	34.40	0.3%	23.497	0.023	0.165	OK!	2.061	1	2	1.03
99.70	34.40	34.00	0.4%	58.742	0.059	0.175	OK!	2.189	4	8	0.27
98.90	34.00	33.70									
49.70	33.70	33.50	0.3%	157.056	0.157	0.167	OK!	2.079	5	10	0.21
100.00	33.50	33.20									
102.00	33.20	32.90									

101.00	32.90	32.60	0.3%	381.511	0.382	0.154	KO!	4.760	7	14	0.34
104.00	32.60	32.33									
127.00	32.33	32.00									
101.00	32.00	31.60	0.5%	1481.525	1.482	0.216	KO!	18.484	5	10	1.85
101.00	31.60	31.00									
32.40	31.00	30.75									
108.00	33.10	32.70	0.3%	131.705	0.132	0.172	OK!	2.141	4	8	0.27
99.70	32.70	32.40									
99.80	32.40	32.00	0.4%	230.020	0.230	0.180	KO!	2.249	4	8	0.28
88.30	32.00	31.70									
116.00	32.20	31.70	0.4%	22.878	0.023	0.194	OK!	2.421	2	4	0.61
106.00	31.70	31.00	0.4%	607.203	0.607	0.192	KO!	7.576	6	12	0.63
102.00	31.00	30.70									
101.00	30.70	30.40									
101.00	30.40	30.10	0.5%	635.646	0.636	0.215	KO!	7.931	3	6	1.32
50.00	30.10	29.60									
100.00	30.70	30.40	0.3%	147.163	0.147	0.162	OK!	2.020	2	4	0.50
89.30	30.40	30.15	0.4%	291.235	0.291	0.191	KO!	2.385	4	8	0.30
102.00	30.15	29.60									
102.00	30.70	30.40	0.3%	47.612	0.048	0.160	OK!	0.594	2	4	0.15
52.00	30.75	30.61	0.3%	2481.059	2.481	0.151	KO!	1.881	3	6	0.31
121.00	30.61	30.30									
112.00	30.30	30.00	0.3%	2648.627	2.649	0.169	KO!	33.045	4	8	4.13
103.00	30.00	29.60									
101.00	30.70	30.30	0.4%	41.428	0.041	0.186	OK!	2.321	2	4	0.58
128.00	29.60	29.10	0.4%	3575.508	3.576	0.185		2.305	3	6	0.38

Tabela 10. Adopção de diâmetros comerciais pelos calculados.

N°	Caudais (m ³ /s)		Diâmetro mínimo (mm)		Diâmetro Mínimo regulamentar (mm)	Diâmetro comercial a adoptar (mm)		Diâmetro interno (mm)	
	Q _{min}	Q _{máx}	V _{máxR=5} (m/s)	i _{máxR=15%}		V _{máxR=5} (m/s)	i _{máxR=15%}	V _{máxR=5} (m/s)	i _{máxR=15%}
C 1	0.0108	0.0359	95.5642	125.66	200	250	200	250	200
C 2					200	250	200	250	200
C 3	0.0200	0.0668	130.4046	158.65	200	250	200	250	200
C 4					200	250	200	250	200
C 5	0.0417	0.1391	188.2229	208.92	200	300	250	300	250
C 6					200	300	250	300	250
C 7					200	300	250	300	250
C 8	0.0128	0.0427	104.2331	134.11	200	250	200	250	200
C 9					200	250	200	250	200
C 10	0.0378	0.1261	179.2240	201.38	200	300	250	300	250
C 11					200	300	250	300	250
C 12					200	300	250	300	250
C 13	0.0234	0.0779	140.8531	168.09	200	300	200	300	200
C 14					200	300	200	300	200
C 15	0.0369	0.1230	177.0140	199.51	200	300	200	300	200
C 16					200	200	200	200	200
C 17	0.0466	0.1552	198.8007	217.66	200	300	250	300	250
C 18					200	300	250	300	250
C 19					200	300	250	300	250
C 20	0.0187	0.0625	126.1078	154.71	200	300	200	300	200
C 21					200	300	200	300	200
C 22	0.0408	0.1360	186.1197	207.16	200	300	250	300	250
C 23					200	300	250	300	250
C 24	0.0779	0.2597	257.1614	264.01	200	300	300	300	300
C 25					200	300	300	300	300
C 26					200	300	300	300	300

C 27	0.0479	0.1595	201.5538	219.92	200	300	250	300	250
C 28	0.0857	0.2857	269.7131	273.62	200	300	300	300	300
C 29	0.1323	0.4409	335.0625	321.97	200	400	400	400	400
C 30	0.2341	0.7803	445.7699	398.84	200	400	400	400	400
C 31					200	400	400	400	400
C 32	0.0580	0.1932	221.8228	236.30	200	300	250	300	250
C 33					200	300	250	300	250
C 34					200	300	250	300	250
C 35	0.0258	0.0859	147.9410	174.39	200	250	200	250	200
C 36					200	250	200	250	200
C 37	0.0508	0.169423103	207.7095	224.94	200	300	250	300	250
C 38					200	300	250	300	250
C 39	0.0768	0.2560	255.3179	262.59	200	300	300	300	300
C 40					200	300	300	300	300
C 41					200	300	300	300	300
C 42					200	300	300	300	300
C 43	0.0894	0.2980	275.4892	278.00	200	300	300	300	300
C 44					200	300	300	300	300
C 45	0.1695	0.5652	379.3623	353.39	200	400	400	400	400
C 46					200	400	400	400	400
C 47	0.2330	0.7766	444.7090	398.13	200	300	400	300	400
C 48					200	300	400	300	400
C 49					200	300	400	300	400
C 50	0.0575	0.1917	220.9337	235.59	200	300	250	300	250
C 51					200	300	250	300	250
C 52	0.0673	0.2245	239.0751	249.96	200	300	250	300	250
C 53					200	300	250	300	250
C 54	0.0163	0.0544	117.7125	146.92	200	300	200	300	200
C 55					200	300	200	300	200
C 56	0.0070	0.0235	77.3522	107.23	200	300	200	300	200
C 57	0.0176	0.0587	122.3046	151.20	200	300	200	300	200

C 58					200	300	200	300	200
C 59	0.0471	0.1571	199.9852	218.63	200	300	250	300	250
C 60					200	300	250	300	250
C 61					200	300	250	300	250
C 62	0.1145	0.3815	311.6906	304.97	200	400	400	400	400
C 63					200	400	400	400	400
C 64					200	400	400	400	400
C 65	0.4445	1.4815	614.2208	507.23	200	300	600	300	600
C 66					200	300	600	300	600
C 67					200	300	600	300	600
C 68	0.0395	0.1317	183.1348	204.67	200	300	250	300	250
C 69					200	300	250	300	250
C 70	0.0690	0.2300	242.0207	252.26	200	300	300	300	300
C 71					200	300	300	300	300
C 72	0.0069	0.0229	76.3277	106.16	200	300	200	300	200
C 73	0.1822	0.6072	393.2211	363.03	200	250	400	250	400
C 74					200	250	400	250	400
C 75					200	250	400	250	400
C 76	0.1907	0.6356	402.3256	369.32	200	300	400	300	400
C 77					200	300	400	300	400
C 78	0.0441	0.1472	193.5840	213.36	200	300	250	300	250
C 79	0.0874	0.2912	272.3275	275.60	200	300	300	300	300
C 80					200	300	300	300	300
C 81	0.0143	0.0476	110.1099	139.74	200	300	200	300	200
C 82	0.7443	2.4811	794.8563	615.44	200	500	800	500	800
C 83					200	500	800	500	800
C 84	0.7946	2.6486	821.2596	630.70	200	500	800	500	800
C 85					200	500	800	500	800
C 86	0.0124	0.0414	102.7114	132.64	200	300	200	300	200
C 87	1.0727	3.5755	954.1989	705.82	200	500	800	500	800

9.1. Relatório estatístico da simulação

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.013)

Analysis Options

Flow Units LPS

Process Models:

Rainfall/Runoff YES

RDII NO

Snowmelt NO

Groundwater NO

Flow Routing NO

Ponding Allowed NO

Water Quality NO

Infiltration Method GREEN_AMPT

Flow Routing Method KINWAVE

Starting Date 04/03/2019 00:00:00

Ending Date 04/03/2019 06:00:00

Antecedent Dry Days 0.0

Report Time Step 00:15:00

Wet Time Step 00:05:00

Dry Time Step 01:00:00

Routing Time Step 30.00 sec

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Total Precipitation	2.187	37.473
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	2.179	37.343
Final Storage	0.010	0.179
Continuity Error (%)	-0.128	
*****	Volume	Volume
Flow Routing Continuity	hectare-m	10^6 ltr
*****	-----	-----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	2.179	21.792
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	0.709	7.088
Flooding Loss	1.478	14.780
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.002	0.018
Continuity Error (%)	-0.431	

Highest Flow Instability Indexes

Link C82 (4)

Link C84 (3)

Link C83 (3)

Link C74 (3)

Link C85 (3)

Routing Time Step Summary

Minimum Time Step: 30.00 sec

Average Time Step: 30.00 sec

Maximum Time Step: 30.00 sec

Percent in Steady State: 0.00

Average Iterations per Step: 1.87

Percent Not Converging: 0.00



Figura 16. Efeitos da falta de drenagem eficiente no primeiro bairro.

Expressão gráfica das curvas I-D-F- para Maputo

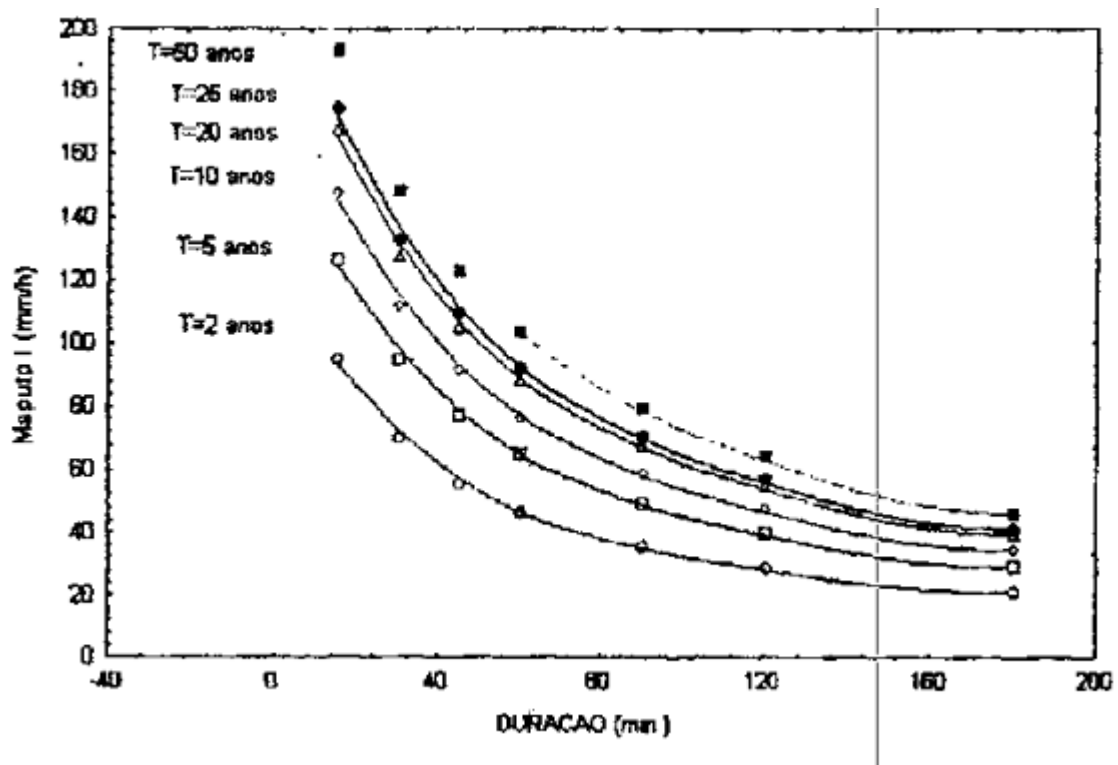


Figura 17. Expressão gráfica das curvas IDF para Maputo

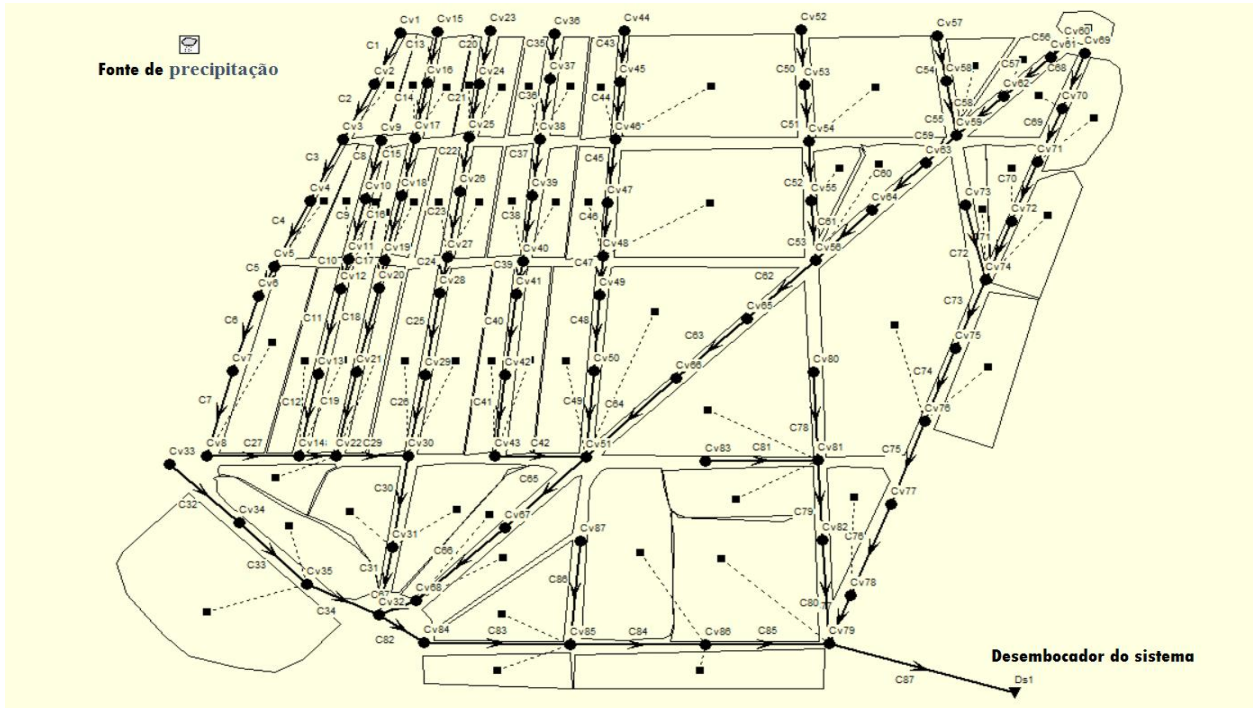


Figura 18. Esquema Geral do sistema de drenagem.

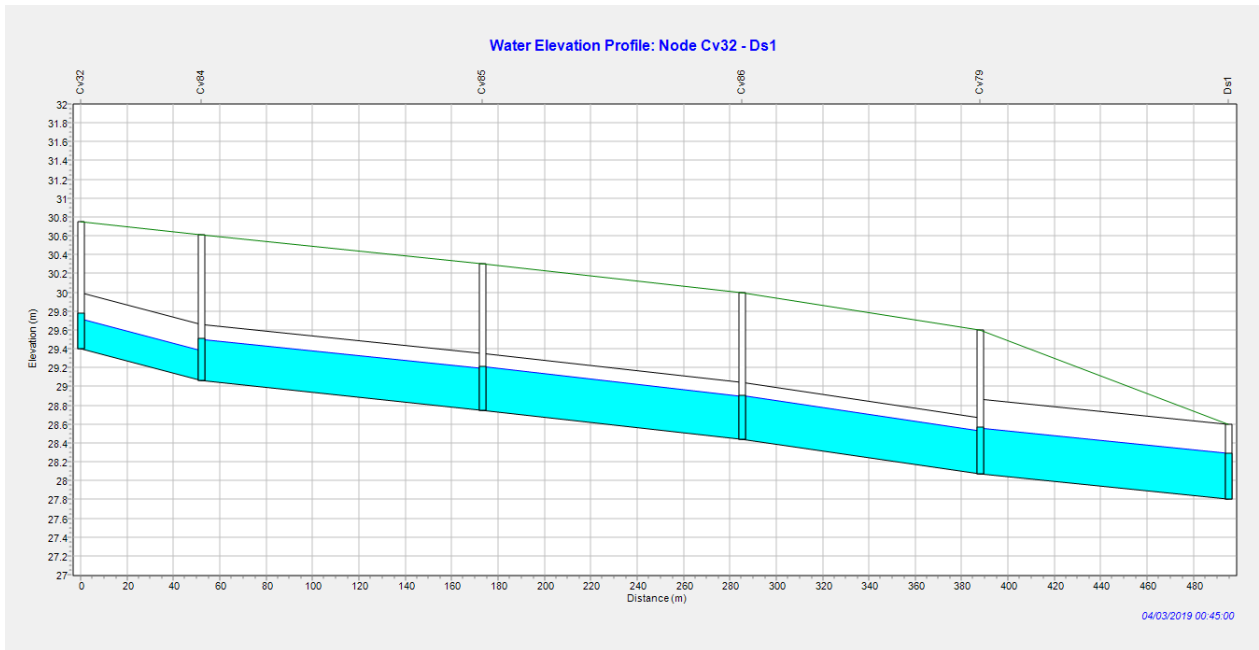


Figura 19. Perfil do nível da água do Cv32 ao desembocador

MAPA DAS REGIÕES PLUVIOMÉTRICAS EM MOÇAMBIQUE

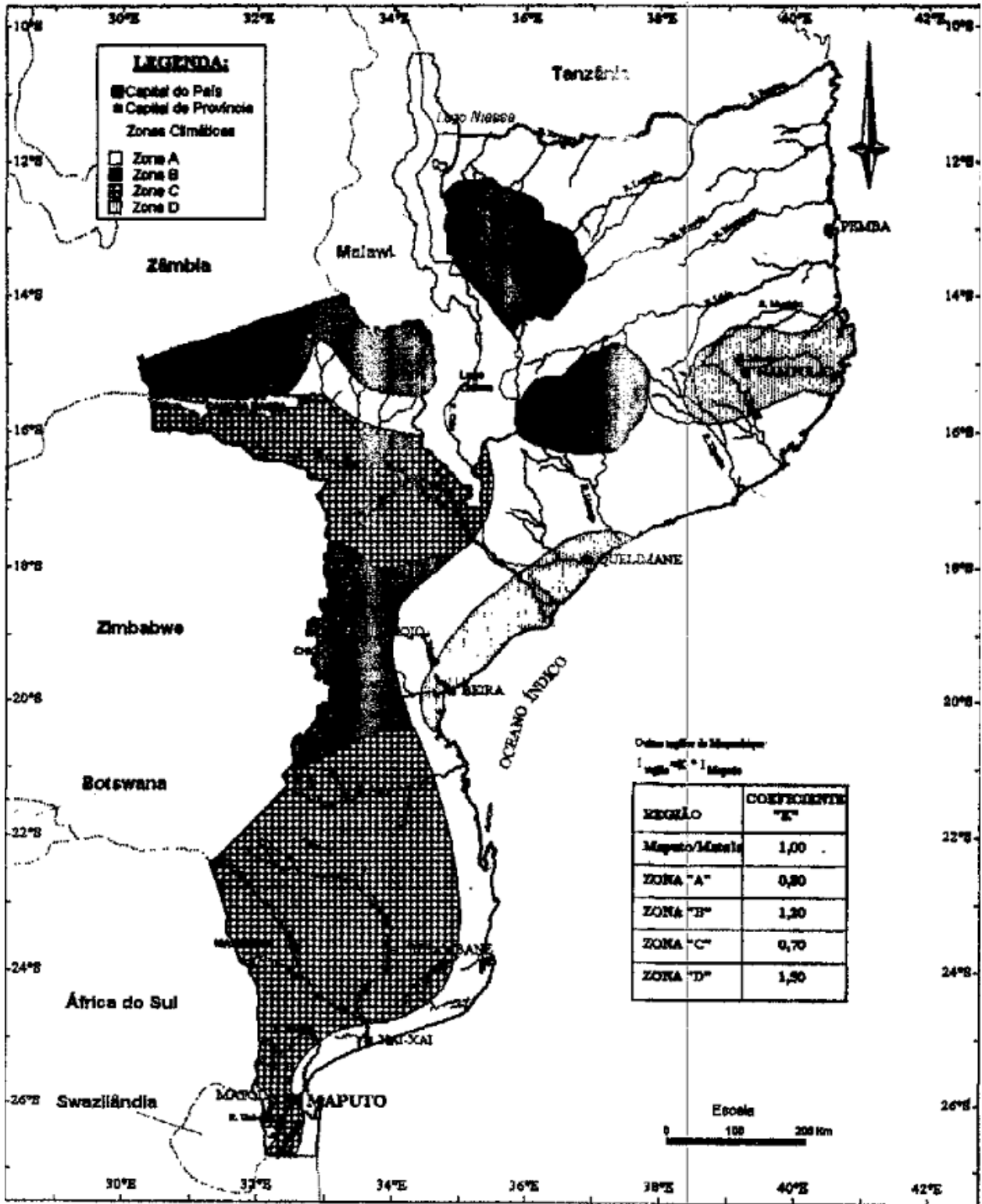


Figura 20. Mapa das regiões pluviométricas de Moçambique.