



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DIVISÃO DE AGRICULTURA

CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

MONOGRAFIA CIENTÍFICA

**APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO EPANET NA DETERMINAÇÃO
DAS PRESSÕES E CLORO RESIDUAL NA REDE DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA DA MAXIXE – PROVÍNCIA DE INHAMBANE**

Autor: Júlio Hussardo Castigo Julião

Código: 2016537

Tutor: Prof. Dr. Mário Tauzene Afonso Matangue

Lionde, Junho de 2022



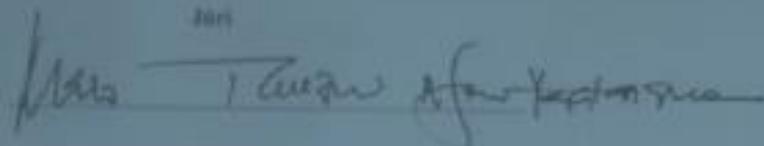
INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia de investigação científica sobre "Aplicação do modelo de simulação Epanet na determinação das perdas e vólvos residual na rede de abastecimento de água da Misba - província de Jubaibara.", apresentada ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Monografia científica defendida e aprovada no dia 07 de Junho de 2022

Juri

Supervisor



(Dr. Mário Teófilo Afonso Matos)

Avaliador (1)



(Eng.º Fernando Branco Tamba MEng.)

Avaliador (2)



(Eng.º Alqabala Mohamed MEng.)

Lisboa, Junho de 2022

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/ACRÓNIMOS.....	7
DEDICATORIA	9
AGRADECIMENTOS	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 Problema e Justificativa	15
1.3 Hipótese de estudo	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Redes de distribuição de Água.....	16
2.2 Gestão da Pressão	18
2.2.1 Controle da Pressão no Sistema de abastecimento de água	19
2.3 Cloro Residual	20
2.3.1 Decaimento do cloro em sistemas de distribuição de água.....	21
2.4 Modelos de Simulação.....	22
2.4.1 Caracterização do EPANET 2.0	23
2.4.2 Capacidade de modelação da qualidade da água e variáveis de estudo.....	24
2.4.3 Limitações.....	25
3. METODOLOGIA	26
3.1 Localização geográfica	26
3.1.2 Descrição do sistema de abastecimento de água do FIPAG no Município da Maxixe ..	27
3.1.3 Rede de Distribuição da Maxixe.....	28
3.2 Recolha de dados nos pontos de amostragem.....	29
3.3 Calibração do Modelo.....	29
3.4 Pressão:	29
3.4.1 Medição da pressão em pontos críticos da rede de distribuição	Error! Bookmark not defined.
3.5 Determinação do decaimento do cloro residual ao longo da rede e na parede da tubagem	30
3.5.1 Determinação da constante cinética de decaimento no seio do escoamento e na parede da tubagem (Kb) e (Kw).	30
3.6 Análises laboratoriais.....	32

3.6.1 Concentração de cloro residual	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Simulação do modelo e análise dos resultados	33
4.1.1 PRESSÃO	33
4.1.3 Caudal	34
4.2 Cloro Residual	35
5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE DADOS COLHIDOS E SIMULADOS NO SISTEMA.	38
5.1 Pressões.....	38
5.2 Variação da pressão na rede de distribuição ao longo do tempo	39
6. CONCLUSÕES	40
7. RECOMENDAÇÕES	41
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
9. APÊNDICES.....	45
9.3 Conversão de unidades de pressão.....	53
10. DETALHES DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE TRATAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA	54
10.1 Previsão dos consumos domésticos e totais.....	54

INDICE DE TABELAS

Tabela 1: Coleta de amostras para o mês de junho	45
Tabela 2 Coleta de amostras de cloro para o mês de julho	46
Tabela 3: Coleta de amostras de cloro para o mês de Agosto	46
Tabela 4: Dados de pressão para o mês de junho	47
Tabela 5: Dados de pressão para o mês de julho	48
Tabela 6: Dados de pressão para o mês de Agosto	50
Tabela 7: Conversão de unidades	53
Tabela 8: Dados simulados no EPANET	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização do município da Maxixe	26
Figura 2: Imagem global da Rede de Abastecimento de Água da Cidade da Maxixe.....	28
Figura 3: Colheita de amostras de pressão.....	29
Figura 4: Análises laboratoriais de cloro residual.....	31
Figura 5: Comportamento das pressões na rede e distribuição.....	33
Figura 6: Comportamento do caudal na rede.....	34
Figura 7: Decaimento do cloro residual no mês de junho (Dados de campo).....	35
Figura 8: Decaimento do cloro residual no mês de julho (Dados de campo).....	36
Figura 9: Decaimento do cloro residual no mês de Agosto (Dados de campo).....	36
Figura 10: Dados de cloro simulados no EPANET	37
Figura 11: Pressões simuladas e de campo em (psi).....	38
Figura 12: Variação da pressão ao longo do tempo em (m.c.a).....	39

LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/ACRÓNIMOS

Ex	Exemplo
ETA	Estação de tratamento de água
C	Concentração do cloro
C₀	Concentração do cloro inicial
°C	Graus célcios
ISPG	Instituto Superior Politécnico de Gaza
K	Constante de decaimento de primeira ordem
Kpa	Quilopascais
Km²	Quilómetro quadrados
mg/l	Miligramas por litro
m.c.a	Metros coluna de água
m³/h	Metro cubico por hora
N	Número de pisos acima do solo
SAA	Sistema de abastecimento de água
USEPA	United States Environmental Protection Agency
U_i	Velocidade média do escoamento
VRP	Válvulas de retenção de pressão



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Declaração

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, 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 _____

(Júlio Hussardo Castigo Julião)

DEDICATÓRIA

A minha mãe dr Olga Mauricio Estevaeo Manhice

que é a responsável por este feito,

ela que não dormia dia e noite

preocupada com o meu bem estar,

e espero do fundo do meu coração que com este resultado

ela possa finalmente ter noites de páz.

AGRADECIMENTOS

A princípio agradecer a Deus todo poderoso pela vida preciosa que me deu, por iluminar o meu caminho e fazer de mim uma pessoa que nem eu esperava ser.

Ao meu tutor Prof. Doutor Mario Tauzene Afonso Matangue que apesar da sua agenda sempre cheia quando pudesse dava seu tempo, entrega e dedicação a esta causa.

Aos meus tios Artur Mauricio, Vitória Manhice que apesar das dificuldades económicas que o país enfrentava estiveram sempre presentes dando o seu apoio financeiro e moral.

Aos meus colegas de carteira e amigos que sempre que pensei que fosse difícil eles estavam lá prontos para me dar o seu apoio e carinho em especial a Argentina da Vanda Mathusse, Nadia Chambal, Elton Raisse, Denilson Vilânculos, Leonel Chana, Cliton de Sousa, Custodio Cumbana, Adelino Abel, Vieira Sergio, Julio Matsimbe, Adriano Abrão, Iocilde Maria, Larcer Aito, Etc.

Em suma, agradeço a todos que, directa ou indirectamente de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Melhorar a qualidade de água nos sistemas de tratamento e abastecimento de água através da gestão da rede de distribuição é de extrema importância para o fornecimento adequado de água aos clientes. A eficiência de um sistema de distribuição pode ser melhorada através de diagnósticos de gestão da pressão e qualidade em sistemas de abastecimento de água. Este trabalho objectiva desenvolver um instrumento de apoio à gestão e tomada de decisão visando a previsão, antecipação de roturas e baixas concentrações de cloro residual na rede de abastecimento de água da Maxixe. Com vista a chegar a este fim, uma série de processos metodológicos como o levantamento de dados da pressão e concentrações de cloro residual na rede foram desenvolvidos para caracterizar os factores que influenciam na baixa qualidade de água no sistema de distribuição da cidade da Maxixe, modelar e escolher o melhor modelo que se adequa nesta situação. Sendo assim foi necessário identificar os pontos críticos onde há falta ou excesso da pressão tendo como máxima (28.8m.c.a) e mínima (18m.c.a) e os locais onde a concentração do cloro é baixa (0.02 mg/l) na rede de distribuição, medir a pressão onde a mínima foi de (4.079 m.c.a) e determinar o decaimento do cloro residual ao longo da rede e na parede da tubagem onde a constante de decaimento foi de ($K_b=0.0256$). Ao fim do estudo desenvolveu-se um modelo de simulação calibrada no EPANET que auxilia na gestão e tomada de decisão nas actividades desenvolvidas na rede de distribuição de água da Maxixe que careçam de um conhecimento sobre a gestão de sistemas de abastecimento de água.

Palavras-chave: Abastecimento de água, qualidade de água, Simulação.

ABSTRACT

Improving water quality in water treatment and supply systems through the management of the distribution network is extremely important for the adequate supply of water to customers. The efficiency of a distribution system can be improved through pressure and quality management diagnostics in water supply systems. This work aims to develop an instrument to support management and decision-making aimed at forecasting, anticipating ruptures and low concentrations of residual chlorine in Maxixe's water supply network. In order to reach this end, a series of methodological processes such as the collection of pressure data and concentrations of residual chlorine in the network were developed to characterize the factors that influence the low quality of water in the distribution system of the city of Maxixe, to model and choose the best model that fits in this situation. Therefore, it was necessary to identify the critical points where there is a lack or excess of pressure having as maximum (28.8m.c.a) and minimum (18m.c.a) and the places where the chlorine concentration is low (0.02 mg/l) in the distribution network, measure the pressure where the minimum was (4.079 m.c.a) and determine the decay of residual chlorine along the network and in the pipe wall where the decay constant was ($K_b=0.0256$). At the end of the study, a calibrated simulation model was developed in EPANET that helps in the management and decision-making in the activities developed in the Maxixe water distribution network that lack knowledge about the management of water supply systems.

Keywords: Water supply, Water quality, Simulation.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Sá Marques e Sousa (2011) um sistema de distribuição de água, consiste na unidade parcelar do sistema de abastecimento de água constituída pelo conjunto de condutas e pelos elementos especiais, que asseguram o transporte e a distribuição da água desde os reservatórios de distribuição até aos utilizadores, em quantidade, qualidade e pressão adequada.

Segundo Alegre 2005 a pressão da água e a concentração de cloro residual são duas das principais variáveis que definem a qualidade do serviço de distribuição de água. A importância do controlo destas duas variáveis é muito significativa: em relação à pressão por esta ter um papel fundamental no controlo das perdas de água e na proteção contra contaminações exteriores, e em relação ao cloro o seu papel é fundamental por assegurar a qualidade microbiológica da água para consumo humano. De acordo com o mesmo autor, tanto a pressão como a concentração em cloro residual devem ser monitorados em pontos-chave da rede de distribuição para controlo operacional.

Relativamente ao cloro residual torna-se necessário manter o teor de cloro residual livre dentro da gama recomendável para água para consumo humano 0,2 a 0,6 mg/L (DL 306/2007 de 27 de Agosto). A finalidade do cloro residual é limitar a presença de microrganismos patogénicos, que podem ser introduzidos acidentalmente no sistema por roturas ou fissuras nas tubagens, ou também que se podem desprender do biofilme das paredes da tubagem. Como o cloro é um elemento não conservativo, a sua concentração diminui ao longo do percurso conforme as condições encontradas nos reservatórios e nas redes (Salgado, 2008). Os pontos críticos das redes são os troços das extremidades onde o cloro residual livre pode ser nulo.

O decaimento do cloro ao longo das tubagens da rede de distribuição resulta do efeito conjunto das reações que ocorrem nas paredes da tubagem e no seio do escoamento. Assim, o bom desempenho do modelo depende da calibração dos parâmetros cinéticos de decaimento do cloro tanto na massa líquida, como junto das paredes das tubagens (Shekhar, 2001)

Como as redes de distribuição de água são infra-estruturas que têm a particularidade de estar, na sua maioria enterradas no solo, existe a dificuldade na inspeção de grande parte das suas componentes tanto no tempo como no espaço geográfico face à complexidade das redes, ao número de pontos de consumo e à variabilidade destes.

O presente estudo propõe o desenvolvimento de uma ferramenta que permita a determinação dos parâmetros cinéticos em sistemas de distribuição para a avaliação da qualidade da água e as variações da pressão da rede de abastecimento de água da cidade da Maxixe utilizar-se-á a versão mais recente do programa de simulação EPANET 2.0, atualizado em Setembro de 2004.

Este programa é um dos simuladores mais utilizados para a aplicação de modelos e foi desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), dos Estados Unidos da América.

Segundo Loureiro e Coelho (2004), as vantagens do uso do EPANET na gestão de SAA podem ser: antecipação do problema criando a possibilidade do gestor avaliar soluções antes da alocação dos investimentos, planeamento de expansão da rede, manutenção do sistema, redução de perdas físicas de água, garantia da demanda de água em quantidade e qualidade e redução de custos operacionais.

1.1 OBJETIVOS

Geral:

- Avaliar a pressão e a qualidade da água com recurso ao EPANET na rede de distribuição de água da Maxixe – Província de Inhambane.

Específicos:

- Identificar os pontos críticos da rede de distribuição da Maxixe;
- Medir a pressão em pontos críticos da rede de distribuição da Maxixe;
- Determinar o decaimento do cloro residual ao longo da rede e na parede da tubagem;
- Proceder com a simulação da pressão e cloro residual na rede com recurso ao EPANET.

1.2 Problema e Justificativa

Na Cidade da Maxixe o envelhecimento do SAA é natural e inevitável, e à medida que estes componentes atingem o final da vida útil, o número de fugas tende a aumentar principalmente com as variações constantes da pressão. As roturas e interrupções do abastecimento tornam-se cada vez mais frequentes e os custos de manutenção do sistema aumentam. Em consequência, a entidade gestora é confrontada com a necessidade de reparar, reabilitar ou substituir os diferentes componentes do sistema. Questões como o que, onde, quando e como são levantadas frequentemente e conduzem muitas vezes, a tomada de decisões baseadas em informações sobre as características das condutas, muitas vezes incorrectas ou incompletas.

Hoje em dia, tem-se verificado uma necessidade constante de intervenção no sistema de abastecimento de água no que tange a variáveis como pressão e a qualidade de água. Desta forma, é indispensável definir estratégias de intervenção através de procedimentos, normas e modelos de apoio à decisão no que se refere a como, quando, onde e o que fazer em cada situação específica. Neste contexto a gestão do abastecimento de água, a qualidade do serviço de distribuição de água e o uso racional dos recursos hídricos tornam-se cada vez mais importantes.

A utilização de modelos de simulação na área de abastecimento de água são a ajuda técnica valiosa para avaliar quer o desempenho hidráulico quer a qualidade da água, na medida em que permite estudar diferentes cenários alternativos de consumos ou de condições operacionais (Araújo, 2006).

O modelo de simulação EPANET 2.0 é uma ferramenta que permite, com uma margem de erro estimável, analisar e prever o comportamento hidráulico e de parâmetros de qualidade da água, a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Assim, este modelo permite uma rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e a simulação dos cenários mais variados, com suficiente aproximação sem ser necessário interferir com o sistema de distribuição de água em causa. Permite também simular alternativas para a expansão, remodelação da rede, permitindo atingir soluções mais sustentáveis do ponto de vista técnico, económico e ambiental.

1.3 Hipótese de estudo

Existem baixas pressões e qualidade de água baixa nas extremidades da rede de distribuição de água do SAA da Cidade da Maxixe.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Redes de distribuição de Água

Uma rede geral de distribuição de água pode ser definida como um sistema de tubagens, elementos e acessórios instalados na via pública, em terrenos da entidade distribuidora ou em outros sob concessão especial, cuja utilização interessa ao serviço público de abastecimento de água potável (Sousa, 2001).

A rede de distribuição representa a fase final de um sistema de abastecimento de água, na qual se procede ao fornecimento de água potável ao aglomerado populacional. A distribuição é efectuada por intermédio de condutas da rede pública, que devem ser dimensionadas (caudal, pressão e diâmetro) de modo a permitir o fornecimento de água às instalações dos edifícios (prédios, moradias, escolas, hospitais, etc.) em quantidade suficiente, pressão adequada e qualidade desejável. Na concepção e exploração da rede de distribuição deverão aplicar-se critérios de decisão e medidas preventivas, que preservem a qualidade da água e suas características de potabilidade conferidas durante a fase de tratamento (Sousa, 2001).

De acordo com (Sousa, 2001), o mais comum na literatura é a classificação por meio dos traçados dos condutos, isto é, as posições em que estão constituídos os segmentos da tubulação. De acordo com a ocupação da área como mostra a figura 3.1 as características dos arruamentos, os traçados podem ser classificados como:

- **Ramificada:** há um duto principal longitudinal que se ramifica para ambos os lados. Só há um percurso possível entre o reservatório e qualquer ponto da rede (escoamento unidirecional);
- **Malhada:** conjunto de tubulações que formam um circuito fechado, ou seja, fecham sobre si mesmos constituindo malhas. Permite escoamento bidirecional;
- **Mistas:** corresponde à configuração em que se mistura, numa mesma rede de distribuição, as duas configurações anteriores. Dessa maneira, é possível ocorrer escoamento unidirecional e bidirecional simultaneamente como ilustra a figura 1.

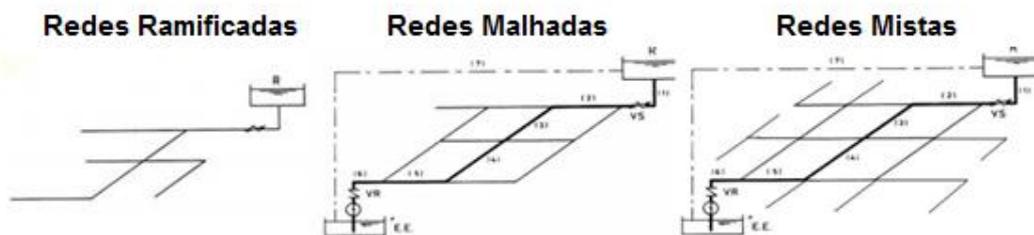


Figura 1: Tipos de rede de distribuição.

É relevante destacar que a canalização pode ser classificada em dois tipos: Principal e Secundária. A primeira se refere às canalizações de maior diâmetro que distribuem a água nas canalizações secundárias. Estas por sua vez, possuem menor diâmetro e abastecem os pontos de consumo no sistema de distribuição (Sousa 2001).

Segundo Sousa 2011, sob ponto de vista hidráulico as redes malhadas, o escoamento bidirecional permitem percursos alternativos e em casos de avarias nas tubulações, é possível isolar uma determinada zona da rede de distribuição sem que todos os consumidores sejam afetados. Além disso, quando ocorrem grandes oscilações de consumo em termos de pressão, os efeitos são pouco significativos. Entretanto, esse tipo de rede exige um maior investimento, pois há necessidade de maior quantidade de tubos e acessórios e os cálculos para determinação de condições de equilíbrio são mais complexos que nas redes ramificadas (sistema de equações não lineares).

Falando em redes ramificadas, elas exigem investimentos menores, os diâmetros das tubagens são mais econômicos e os cálculos de determinação das condições de funcionamento hidráulico são mais simples que nas redes malhadas. Porém, pelo fato do escoamento ser unidirecional, em casos de avarias, interrompe-se todo o fornecimento de água à jusante (posterior à avaria). Além disso, as oscilações de consumo geram efeitos significativos em termos de pressão e os detritos, nos pontos terminais da rede de distribuição, têm tendência a acumular sedimentos devido às baixas velocidades do escoamento. Vale ressaltar que existem normas para a construção das redes, tais como distâncias e profundidades a serem garantidas para segurança da população, do sistema e da qualidade da água fornecida (Sousa 2001).

2.2 Gestão da Pressão

Segundo Alegre *et al.* (2005), a gestão activa das pressões é um factor determinante no controlo das perdas de água, visto que tem um papel fundamental no caso dos caudais totais de perdas, bem como nos consumos e nas taxas de roturas em condutas.

Geralmente é atribuído um valor mínimo de pressão ao sistema de abastecimento, quando se trata da situação mais desvantajosa de consumos e nos pontos mais críticos da rede. Durante o período no turno em que o consumo é menor, as pressões tem tendência a aumentar, pelo que devem ser reduzidas ainda mais, do que no período diurno. A gestão das pressões significa redução de perdas de água, conseqüentemente a redução do número de roturas é uma melhor gestão dos consumos (Alegre *et al.*, 2005).

A pressão a que está submetido o sistema de distribuição de água é um dos principais factores que influenciam o número de vazamento, por isso, o gerenciamento das pressões na distribuição traz uma ampla gama de benefícios, é fundamental para a redução das perdas reais (Lambert e Thornton, 2012).

A gestão da pressão em redes de distribuição de água pode ser conseguida através da optimização do funcionamento de estações elevatórias com grupos de elevação com velocidade variável, recorrer à divisão da rede por patamares de pressão em função das condições topográficas, e ainda através da instalação de dispositivos de redução da pressão (VRP). Apesar de poderem ser usados em conjunto, o primeiro método, à partida será mais adequado quando existem estações elevatórias ligadas directamente à rede de distribuição de água (além de permitir reduzir as perdas de água, reduz os consumos energéticos); o segundo método aplica-se sobretudo quando a redução da pressão na rede se pretende permanente ou durante um período alargado de tempo; por último, o terceiro método tem a vantagem de poder ser implementado em qualquer zona da rede de distribuição de água e permitir ajustar a pressão a jusante ao consumo efectivo, de forma permanente ou ao longo do tempo (Alegre *et al.*, 2005; Thornton *et al.*, 2008).

Ao haver uma gestão activa de pressões, as entidades gestoras vão poder reduzir o seu caudal de perdas de água, vão poder reduzir o seu consumo em dispositivos que estão sujeitos à pressão do sistema público, vão estabilizar a pressão existente no sistema de distribuição, vão proteger a parte infra-estrutural da rede de abastecimento e vão reduzir a ocorrência de roturas (Alegre *et al.*, 2005).

Segundo Marques (2011), a pressão máxima nas redes de distribuição, medida ao nível do solo, é de 60 m.c.a, e a pressão mínima varia em parte do tipo de urbanização, mais concretamente, do número de pisos acima do solo das edificações a abastecer, assim a pressão mínima foi calculada pela expressão:

$$H = 10 + 4n \quad (1)$$

Onde, H a pressão mínima em m.c.a. e **n** o número de pisos acima do solo.

2.2.1 Controle da Pressão no Sistema de abastecimento de água

Segundo Lambert e Thornton (2012), a pressão elevada pode contribuir para as perdas e desperdício de água no sistema hidráulico de várias maneiras, quais sejam: frequência de rupturas, golpe de aríete ou fornecimento de água em quantidade superior à necessária numa torneira, por exemplo, chegando até mesmo a comprometer o funcionamento de equipamentos específicos.

Uma redução de pressão de 30 m.c.a para 17 m.c.a pode resultar em economia de aproximadamente 30% do consumo de água. Portanto, a avaliação e controle da pressão no sistema hidráulico pode representar importante contribuição para a redução do consumo de água (Lambert e Thornton, 2012).

Segundo Alegre *et al.* (2005); Thornton *et al.* (2008), em residências, o problema pode ocorrer principalmente nas torneiras de jardim ou outros pontos que sejam abastecidos directamente pela rede, quando esta apresenta pressão elevada. Constatada a existência de pressão superior à necessária, devem ser especificados dispositivos adequados a cada caso como, por exemplo, restritores de vazão, placas de orifício ou válvulas redutoras de pressão.

2.3 Cloro Residual

Após a cloração da água, com toda a demanda de cloro consumido e a desinfecção completa, a água apresenta a concentração de cloro residual nula. Entretanto, a presença do cloro residual na água do sistema de distribuição tem a finalidade de proteger a qualidade da água contra o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais a saúde. Por exemplo no caso de ocorrer uma poluição moderada, o cloro residual poderá garantir a desinfecção da água no sistema de distribuição. Por outro lado, caso a poluição seja maior, o cloro residual será totalmente consumido e deste modo, o cloro residual da rede pode servir como índice de qualidade da água facilmente monitorado (manfrine, 1974).

Para garantir a manutenção do cloro residual ate nos pontos mais distantes do sistema de distribuição, normalmente aumentam-se as dosagens de cloro nas estações de tratamento de água. Essa estratégia pode resultar em problemas relacionados com sabor e odor, principalmente nas áreas de influência mais próximas ao tratamento de água, e em problemas relacionados com a saúde pela possibilidade de geração de subprodutos de potencial cancerígenos (CLARK et al, 1995; ROUHIAINEN et al, 2003).

Em Moçambique a Lei n° 16/91, de 3 de Agosto, Lei de Aguas, atribui ao Ministro da Saúde competências para estabelecer os parâmetros através dos quais se deve reger o controlo da qualidade da água para que seja considerada potável e própria para o consumo humano.

Para efeitos de aplicação das disposições da Lei da águas, a Direção Nacional de Saúde é designada por autoridade competente para garantir o controlo de qualidade de água destinada ao consumo humano, bem como para controlar a aplicação das suas disposições. Para a prossecução dos objectivos deste Regulamento as competências da Direção Nacional de Saúde serão exercidas por diversas estruturas desta, desde o nível central, provincial ate ao local. A nível central, as competências da autoridade competente serão exercidas pelo Departamento de Saúde Ambiental e pelo Laboratório Nacional de Higiene de Águas e Alimentos, a nível provincial pelos Centros de Higiene Ambiental e Exames Médicos e Laboratórios Provinciais de Água e a nível local, pelos Centros de Saúde.

2.3.1 Decaimento do cloro em sistemas de distribuição de água

O consumo do cloro residual nas redes de distribuição de água é uma função de muitos factores que incluem, a velocidade do escoamento, o tempo de residência, o diâmetro da tubulação, o decaimento na massa da água e o decaimento na região da parede da tubulação (CLARK et al, 1995).

O decaimento do cloro residual nos sistemas de distribuição ocorre devido as reações com substâncias orgânicas e inorgânicas (Ex: amónia, sulfetos, iões de ferro, iões de magnésio e matéria orgânica), as reações com biofilme formado nas tubulações e ao consumo pelo processo de corrosão, principalmente nas tubulações de ferro (Clark et al, 1995).

As características da água na saída da estação de tratamento (ETA) alteram-se ao longo do seu percurso pela rede de distribuição, inclusive podendo haver redução da desinfecção residual. Os sistemas de distribuição de água apresentam características semelhantes a um reator, onde ocorrem reações de origem química e biológicas no escoamento e/ou entre a água e o material do reservatório e da tubulação (Martinho et al, 2006).

Assim os modelos utilizados para descrever o decaimento da concentração do cloro residual nos sistemas de distribuição, normalmente consideram-se duas componentes: uma relacionada com o escoamento e outra relacionada com a região próxima a parede das tubulações que podem ser representadas pelas respectivas constantes cinéticas k_b e k_w (CLARK et al, 1995).

Usualmente os modelos de transporte de cloro são baseados nas leis de conservação de massa e geralmente são descritos por uma equação de advecção, que tem como simplificação assumir dimensão única que pode ser expressa na forma:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -U_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + r(C_i) \quad (2)$$

Sendo que C_i A concentração (massa/volume) na tubulação i em função da distancia x e do tempo t , U_i A velocidade média do escoamento (comprimento/tempo) na tubulação i e r são a taxa de reação (massa/volume/tempo) em função da concentração, que representa a combinação dos efeitos das reações no escoamento e na região da parede da tubulação.

Muitos dos modelos de qualidade disponíveis assumem cinética de primeira ordem simples para o decaimento do cloro em sistemas de distribuição, definindo o consumo do cloro conforme as seguintes equações:

$$\frac{dC}{dt} = -KC \quad (3)$$

$$C = C_0 e^{-tk} \quad (4)$$

Onde: C é a concentração do cloro no tempo t; C₀ é a concentração de cloro inicial; e k é a constante de decaimento de primeira ordem.

2.4 Modelos de Simulação

Segundo Coelho 2006 os modelos de simulação são ferramentas que permitem, com uma margem de erro estimável analisar e prever o comportamento hidráulico e de parâmetros de qualidade de água do sistema a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Os modelos permitem assim a rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e a simulação de cenários variados, com suficiente aproximação, sem ser necessário interferir com o sistema em causa ou arriscá-lo a modos de operação desconhecidos.

A simulação do comportamento do sistema pode ser utilizada para prever a sua resposta face a gamas alargadas de condições operacionais e ambientais. Os problemas podem assim ser antecipados e as soluções avaliadas antes de os investimentos serem realizadas (Coelho *e tal.*, 2006).

A aplicação de modelos matemáticos no saneamento básico está bastante divulgada e desenvolve-se rapidamente. Existem aplicativos para a simulação hidráulica como, por exemplo, WaterCAD desenvolvido pela *Haestad Methods*, que em Agosto de 2004, fundiu-se a *Bentley Systems*, e o EPANET da U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA). Estes oferecem aos profissionais uma maior rapidez na execução dos modelos e análise com maior nível de detalhe.

2.4.1 Caracterização do EPANET 2.0

Segundo Loureiro e Coelho (2004) o EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade de água de sistemas de distribuição em pressão. A simulação estática permite reproduzir as características do sistema simulado para um dado cenário de consumos, como se deles fornecessem uma fotografia. Em complemento desta, a simulação dinâmica é utilizada em sistemas de distribuição de água, quando é efetuada uma simulação da evolução do sistema ao longo do tempo, através de uma sequência de equilíbrio hidráulico obtida para sucessivos instantes. Este programa permite obter os valores do caudal em cada tubagem, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos passos de cálculo.

Pode ser utilizado em diversas situações onde seja necessário efetuar simulações de sistemas de distribuição. O estabelecimento de cenários de projeto (ex: expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento de cloro residual e a avaliação dos consumos constituem alguns exemplos. De acordo com Loureiro e Coelho (2004), o EPANET pode ajudar a analisar alternativas estratégicas de gestão, de modo a melhorar a qualidade da água através do sistema, por exemplo:

- Alterações na utilização de origens de água num sistema com múltiplas origens;
- Alteração de esquemas de funcionamento de grupos elevatórios e enchimento/esvaziamento de reservatórios de nível variável;
- Utilização de tratamento adicional, como seja a recloração;
- E seleção de tubagens para limpeza e substituição.

Segundo Loureiro e Coelho (2004) o EPANET 2.0 apresenta ambiente gráfico integrado que permite:

- Editar os dados descritivos da rede e dos cenários a modelar;
- Executar simulações hidráulicas e de qualidade da água;
- Calibrar o modelo e visualizar os resultados em vários formatos.

Segundo os mesmos autores o EPANET 2.0 pode ser utilizado para:

- Desenvolver programas de amostragem ou planos estratégicos para o estudo da perda de desinfetantes e formação de subprodutos;
- Avaliar estratégias de aperfeiçoamento da qualidade de água, tais como a alteração da origem das águas dentro de um sistema multi-fontes;
- Modificar horários de bombeamento e enchimento/esvaziamento de reservatórios para redução de custos energéticos e tempos de percurso.

2.4.2 Capacidade de modelação da qualidade da água e variáveis de estudo

Para além da modelação hidráulica, o EPANET também fornece o modelo de simulação de qualidade da água que é um modelo Lagrangeano para seguir o destino dos segmentos, à medida que estes se deslocam nas tubagens e se misturam nos nós, entre passos de cálculo com comprimento fixo. Os passos de qualidade de água são tipicamente menores do que os passos de cálculo hidráulico (ex.: minutos em vez de horas) para ter em conta os pequenos tempos de percurso que possam ocorrer no interior das tubagens.

Seguem-se as seguintes possibilidades fornecidas pelo EPANET relativamente à modelação da qualidade da água:

- Modelação do transporte de um constituinte não reativo (ex.: um traçador) através da rede ao longo do tempo;
- Modelação do transporte, mistura e transformação de um constituinte reativo, à medida que este sofre decaimento (ex.: cloro residual) ou crescimento (ex.: um subproduto da desinfecção) com o tempo;
- Modelação do tempo de percurso da água através da rede;
- Modelação de reações de decaimento de cloro no seio do escoamento e na parede da tubagem;
- Definição de limites para a transferência de massa na modelação de reações na parede;
- Permitir que as reações de crescimento ou decaimento sejam controladas por um valor de concentração limite;
- Possibilidade de relacionar o coeficiente de reação na parede com a rugosidade da tubagem;
- Definição de variação temporal da concentração ou de entrada de massa em qualquer ponto da rede;
- Determinação do tempo de percurso da água através de um sistema;

- Determinação da perda de cloro residual;

2.4.3 Limitações

O EPANET apesar de todas as suas capacidades de modelação de sistemas de distribuição de água apresenta algumas limitações. Há a destacar limitações como: não permite a análise da qualidade da água a mais do que uma espécie em simultâneo; não permite inserir uma distribuição dos consumos ao longo da rede de forma automática; é necessário a utilização de alguns artifícios para ultrapassar alguns pormenores como a simulação da entrada de água num reservatório de cota fixa, admissão de caudal nulo para situações hidrostáticas ou aceitar um reservatório completamente vazio (Silva, 2008).

3. METODOLOGIA

3.1 Localização geográfica

Segundo LANGA et al (2008), o município da cidade da Maxixe é limitado a norte pelo distrito de Morrumbene através do rio Nhanombe, e a Sul pelo distrito de Jangamo e Homoine, e a este pela cidade de Inhambane através da baía do mesmo nome e a oeste pelos distritos de Homoine através do rio Nhanombe, conforme mostra a figura 2.



Figura 2. Localização do município da Maxixe

Fonte (FIPAG Maxixe)

Segundo LANGA *et al* (2008), Maxixe é caracterizado por um clima tropical húmido. A temperatura média anual varia de 20 °C a 26 °C, onde a média máxima ocorre no mês de janeiro e a mínima em julho. A temperatura máxima média varia entre os 24 °C e 30 °C e a mínima média entre 15 °C e 22 °C.

A cidade da Maxixe localiza-se no centro da província de Inhambane e ocupa uma área de 268 km², com uma densidade populacional aproximadamente 419 habitantes por km² e com uma população total de 108.824 habitantes dos quais, 59.920 habitantes correspondentes a 55,1% são do sexo feminino e 48.904 habitantes correspondente a 44,9% são do sexo masculino (INE 2007).

3.1.2 Descrição do sistema de abastecimento de água do FIPAG no Município da Maxixe

O sistema de abastecimento de água no Município da Maxixe é feito através de duas fontes de água nomeadamente: Água superficial e água subterrânea (NHANOMNE, 2013). A água superficial é captada no rio Nhanombe localizado no bairro Habana e encontra-se a 12 km da cidade de Maxixe. Esta fonte está sob alçada da ARA-SUL como gestor desse recurso hídrico onde o FIPAG da Maxixe tem obtido a água numa capacidade de $300m^3/h$ para abastecer a cidade. O sistema foi construído entre os anos 2006 a 2008 (Nhanombe, 2013).

Para além da captação superficial encontra se também a captação subterrânea, esta que é composta atualmente por 13 furos dos quais 7 operacionais e 6 inoperacionais aguardando o equipamento de exploração. Dos operacionais três furos fazem injeção directa de água na zona de expansão para reforçar a rede de distribuição com uma contribuição de $56m^3/h$, um furo que reforça a rede nos bairros de Chambone 2, Malalane, Macupula, com uma contribuição de 8 a $9 m^3/h$, um furo em Chambone 4 que alimenta 9 fontenárias e também a cidade com uma contribuição de $10m^3/h$ e por fim dois furos da ETA que misturam a água bruta para melhoria de qualidade com uma contribuição. Dos inoperacionais encontram se nos bairros de Mangapana, Mabil e Habana, dois furos em cada bairro (Nhanombe, 2013).

Totalizando a produção do sistema da Maxixe tem em media uma captação mensal de $198.769 m^3$ /mês o que corresponde a $6.626 m^3/dia$ e $276 m^3/h$. Para o tratamento tem cerca de $177.703 m^3$ /mês o que corresponde a $5.923 m^3/dia$ e $247 m^3/h$ (NHANOMBE, 2013).

Segundo o mesmo autor em termos de cobertura este sistema abastece cerca de 12 bairros do Município da cidade da Maxixe nomeadamente: Chambone, Rumbana, Nhambiho, Bato, Habana, Malalane, Macupula, Macuamene, Matadouro, Nhamaxaxa, Maquetela e Barrane.

3.1.3 Rede de Distribuição da Maxixe

O sistema abastece através de uma rede de distribuição de 350 km, 13703 ligações domiciliárias e 26 fontanários públicos, durante uma media de 16 horas por dia, a cerca de 76.820 habitantes que corresponde a 66% de uma população total de 117.700 habitantes distribuídos por 15 bairros, nomeadamente: Chambone, Rumbana, Nhambiho, Bato, Habana, Malalane, Macupula, Macuamene, Maquetela, Eduardo Mandlane (Expansão), Nhamaxaxa, Matadouro, Mabil, Barrane e Bembe.

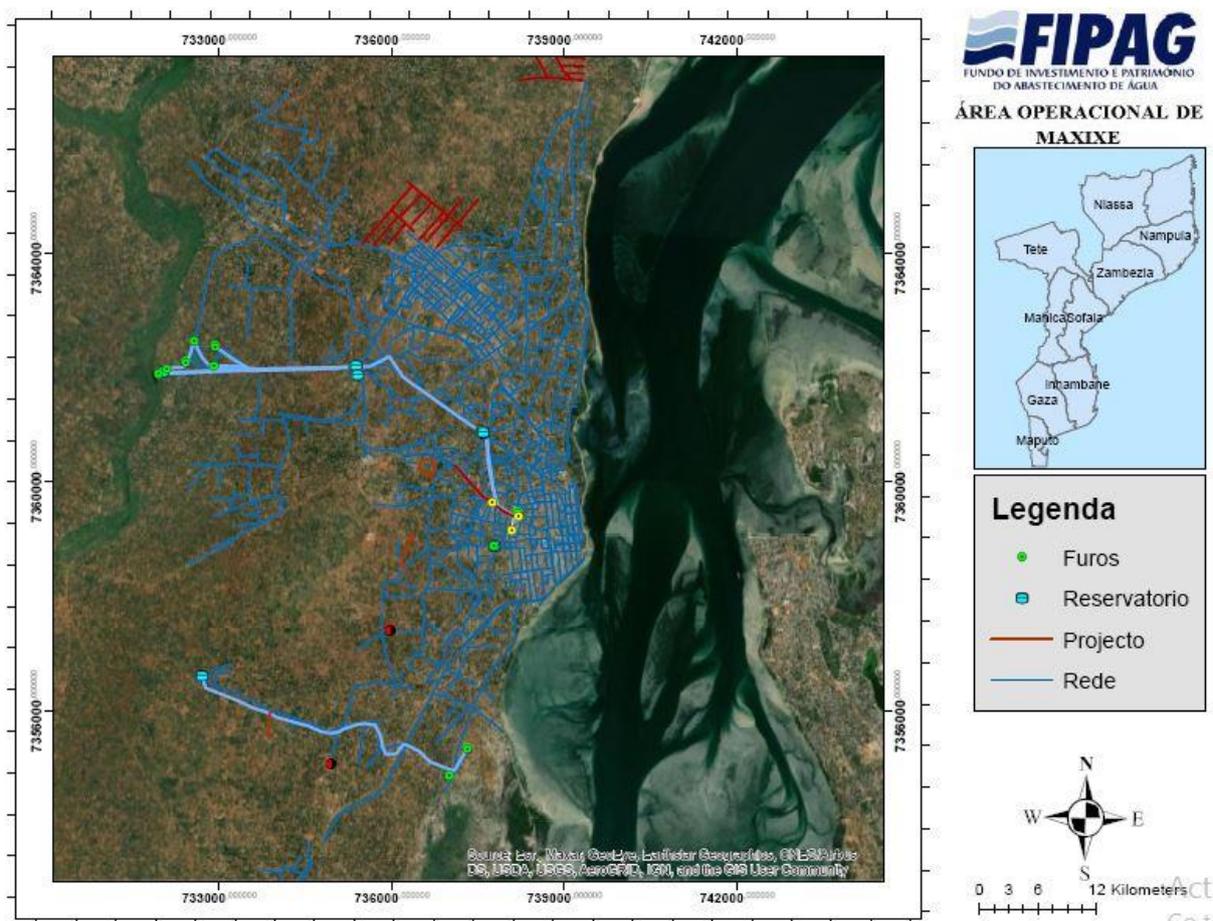


Figura 3. Imagem global da Rede de Abastecimento de Água da Cidade da Maxixe

Fonte: Fipag de Maxixe, (2019).

3.2 Recolha de dados nos pontos de amostragem.

Com vista a lidar com a problemática acima descrita, a colecta foi realizada num período de três meses, os pontos críticos foram selecionados com base nas informações fornecidas pela empresa, são os locais pelos quais foram feitas as leituras das pressões e colheita de amostras para analisar a concentração cloro residual no sistema de distribuição. Na primeira fase foram identificados 12 pontos de amostragem desde o reservatório até o ponto mais extremo onde foram feitos os levantamentos de dados com ajuda da entidade competente e de alguns consumidores de água do sistema de abastecimento da cidade da Maxixe.

3.3 Calibração do Modelo

Foi elaborado um plano de medições para calibração do modelo relativamente às variáveis pressão e cloro residual, que se apresentam de seguida:

3.4 Pressão:

A metodologia adotada para a obtenção de dados de calibração consistiu na colocação de um manómetro para a medição da pressão, em doze pontos-chave da rede do caso em estudo. Estes pontos foram selecionados na rede, devido a serem as situações mais críticas, onde se verificam mais problemas, tal como excesso ou falta de pressão como ilustra a figura 4.

As primeiras medições foram efetuadas no dia 04/06/2021 e tiveram um período de três meses, as mesmas foram feitas num espaço de tempo de 18 horas repetindo-se três vezes num intervalo de tempo de 6 horas entre medições.



Figura 4. Colheita de dados da pressão

Os procedimentos aplicados para a medição da pressão nos pontos de amostragem da rede de distribuição água da Maxixe foram os seguintes:

1. Com recurso a uma chave inglesa desmontou-se a torneira;
2. Conectou-se o manómetro de pressão na torneira;
3. Abriu-se a válvula montada no manómetro;
4. Efetuou-se a leitura 50 segundos após a válvula ser aberta e registar o valor.

3.5 Determinação do decaimento do cloro residual ao longo da rede e na parede da tubagem

Para se proceder à simulação da qualidade da água foi necessário considerar as reações de decaimento do cloro residual à medida que este se desloca ao longo da rede, tanto no seio do escoamento, assim como na parede da tubagem para se obter a constante de decaimento do mesmo. Muitos modelos de qualidade de água disponíveis assumem a cinética de primeira ordem simples para o decaimento do cloro nas redes de distribuição, apêndices 9. Este modelo traduz-se num decaimento exponencial ao longo do tempo que faz com que a velocidade da reação depende apenas da concentração do cloro inicial.

3.5.1 Determinação da constante cinética de decaimento no seio do escoamento e na parede da tubagem (K_b) e (K_w).

O avanço do conhecimento sobre o decaimento do cloro residual tem sido feito essencialmente na componente do consumo de cloro no seio da água, nomeadamente na sua quantificação do ponto de vista experimental.

Uma vez que o desaparecimento do cloro no seio da água não depende dos materiais das tubagens, mas somente das características da água, podem ser efetuados testes em laboratório para determinação das constantes cinéticas que caracterizam este decaimento.

A determinação, o mais precisa possível, dos parâmetros do decaimento devido às reações que ocorrem nas paredes dos componentes do sistema passa pela análise exaustiva em laboratório do comportamento da água em contacto com as tubagens da rede

De acordo com os cálculos feitos a velocidade com que o cloro se decipa na rede leva-nos a crer que se deve ao decaimento no seio do escoamento (K_b), que representa o consumo do cloro devido às reações com substâncias orgânicas e inorgânicas existentes na água. Para o decaimento no seio do escoamento foi usado o modelo de decaimento segundo a equação de

primeira ordem, esta reação propõe a redução exponencial do cloro ao longo do tempo, levando em conta que a velocidade da reação depende apenas da concentração inicial de cloro.

Como ilustra a figura 5 a colheita da água foi feita com uma garrafa de mergulho no local mais próximo da injeção do cloro (saída do reservatório) e nas extremidades da rede. Mediu-se a temperatura da água, de seguida colocou-se a amostra de água numa série de garrafas de vidro não reativas, por último a análise do conteúdo em cloro residual de cada garrafa em diferentes intervalos de tempo pré-determinados, através do método analítico de análise química de DPD (Dietil-p-fenilenediamina) com leitura através de um fotómetro Eutech instruments, clorímetro DR 900.



Figura 5. Análises laboratoriais de cloro residual

3.6 Análises laboratoriais

As amostras coletadas eram levadas no mesmo dia ao laboratório para determinação da concentração de cloro residual e as constantes de decaimento (apêndices 9.1).

3.6.1 Concentração de cloro residual

A determinação da concentração de cloro residual na rede de distribuição da Maxixe através do método analítico de análise química de DPD (Dietil-p-fenilenediamina) com leitura através de um fotômetro Eutech instruments, clorimeter DR 900 com a seguinte sequência:

1. Lavou-se as garrafas e posterior secagem antes de levar ao campo;
2. Identificou-se as garrafas em função das amostras que estas haveriam de portar;
3. No ponto de amostragem, lavou-se a garrafa três vezes com a água que foi colhida;
4. Coletou-se as amostras nas garrafas de vidro em intervalos de tempo pré-determinados;
5. Após chegada ao laboratório as garrafas foram retiradas e colocadas em sequência nós.
6. Fez-se a análise do cloro residual usando cubetas e o respectivo reagente, seguindo-se a anotação da concentração obtida em cada nó.
7. Determinação da constante de decaimento usando a cinética de primeira ordem.

$$C = C_0 e^{-tk} \quad (5)$$

Onde: C é a concentração do cloro no tempo t; C_0 é a concentração de cloro inicial; e k é a constante de decaimento de primeira ordem.

4.1.3 Caudal

Como não foi possível monitorar a vazão de consumo em cada residência por falta de equipamentos, foi considerado que o consumo de cada residência é a média da vazão distribuída no sector de 0,05 l/s em cada trecho na rede de distribuição. No dimensionamento da rede de distribuição de água e os consumos foram definidos segundo as exigências definidas para cada trecho como ilustra a figura 7.

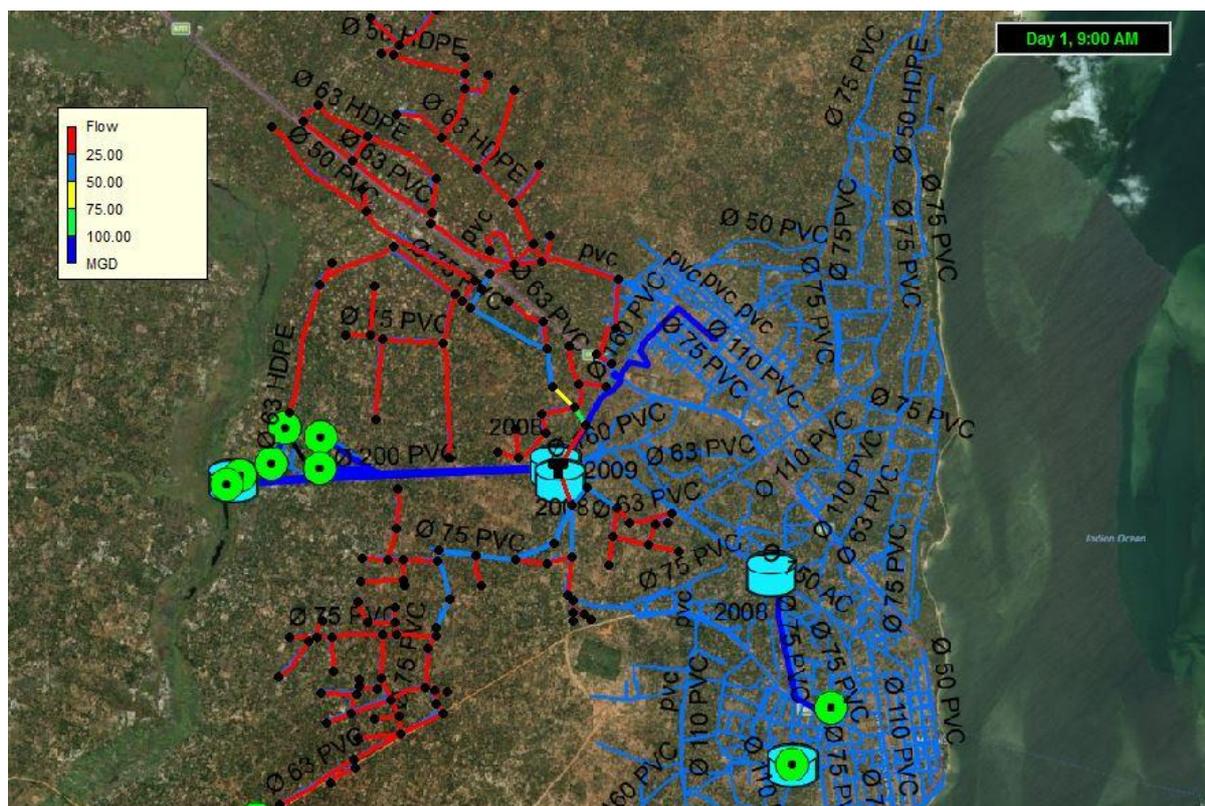


Figura 7. Comportamento do caudal na rede

4.1.4 Comportamento do Caudal na rede

Numa análise semelhante à da pressão, na figura 7 é possível verificar o caudal nos troços de conduta e identificá-los segundo os valores do mesmo, numa rede ramificada como a da cidade da Maxixe os troços de conduta com maior caudal são os de ligação ao reservatório (origem da água) e os de menor caudal são as extremidades da rede. O resultado mínimo de caudal 0,03 l/s e o máximo foi de 9,44 l/s. Segundo norma moçambicana do Boletim da república, serie-numero 26 defende que o dimensionamento hidráulico dos ramais de ligação consiste na determinação dos seus diâmetros com a base nos caudais de cálculo compreende se entre 0,2 l/s e 2,0 l/s isto significa o caudal na rede de distribuição esta ótimo.

4.2 Cloro Residual

Foi feita uma simulação baseada nos três meses de coleta de dados do cloro residual dividido em quatro semanas cada como ilustram os gráficos 8, 9 e 10, é possível verificar que as concentrações do cloro inicial no sistema não são constantes devido a mistura da solução que é feita manualmente.

Nota-se nos gráficos a baixa velocidade pela qual o cloro residual é consumido na rede de distribuição da cidade da Maxixe, e esse consumo pode depender de vários fatores como: a idade da tubagem, presença de matéria orgânica e inorgânica na tubulação entre outros fatores que serão estudados no processo da simulação. Os meses de Junho, Julho e Agosto período em que o estudo foi realizado correspondem a uma época de baixa turvação no rio Nhanombe, este período faz com que as concentrações de cloro residual e sulfato de alumínio doseadas no sistema sejam mais baixas em relação ao período chuvoso onde se verificam elevados níveis de turvação.

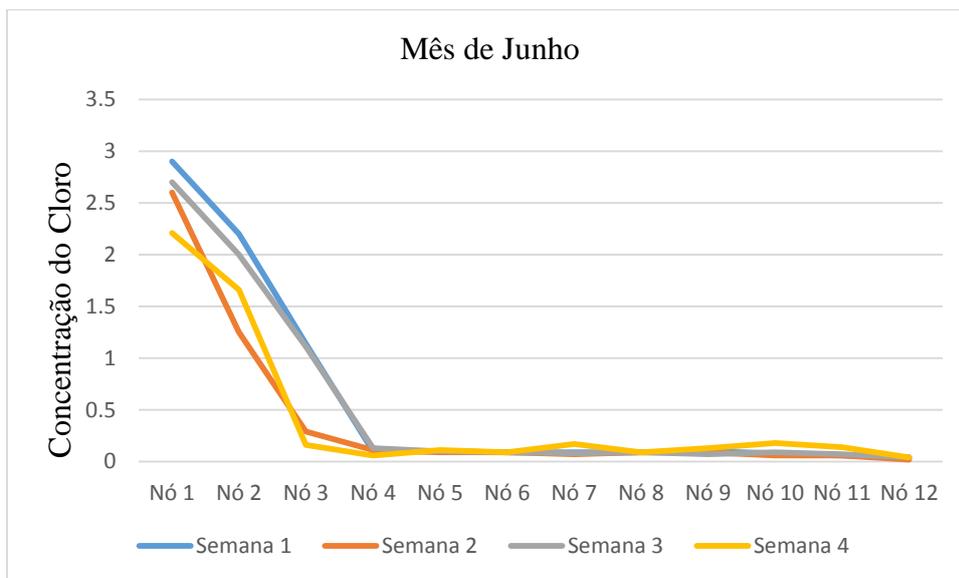


Figura 8. Decaimento do cloro residual no mês de junho (Dados de campo)

A figura 9 mostra as concentrações do cloro residual referentes ao mês de julho período de baixa turvação no rio, estes dados foram colhidos ao longo da rede de distribuição partido do reservatório de nível fixo ate as extremidades da rede.

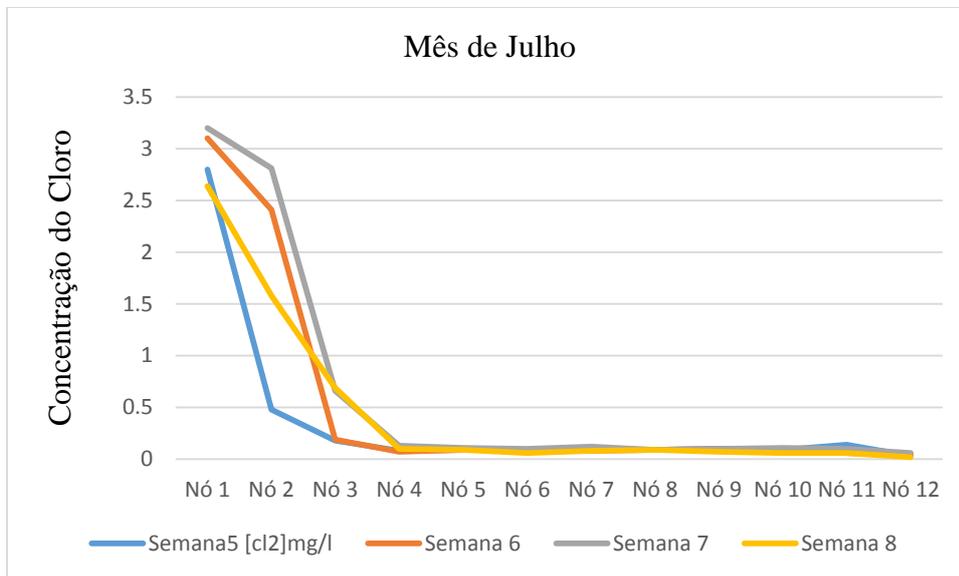


Figura 9. Decaimento do cloro residual no mês de julho (Dados de campo)

Figura 10 são dados de campo referentes ao mês de agosto que representam a última fase da colheita de amostras no sistema. O sistema da Maxixe é na sua maior parte composto por tubulações do tipo PVC e o decaimento atribuído a parede da tubagem (Kw) não tem tanto efeito no sistema pois ele é muito associado a fatores como material da tubagem, idade e o diâmetro das tubulações.

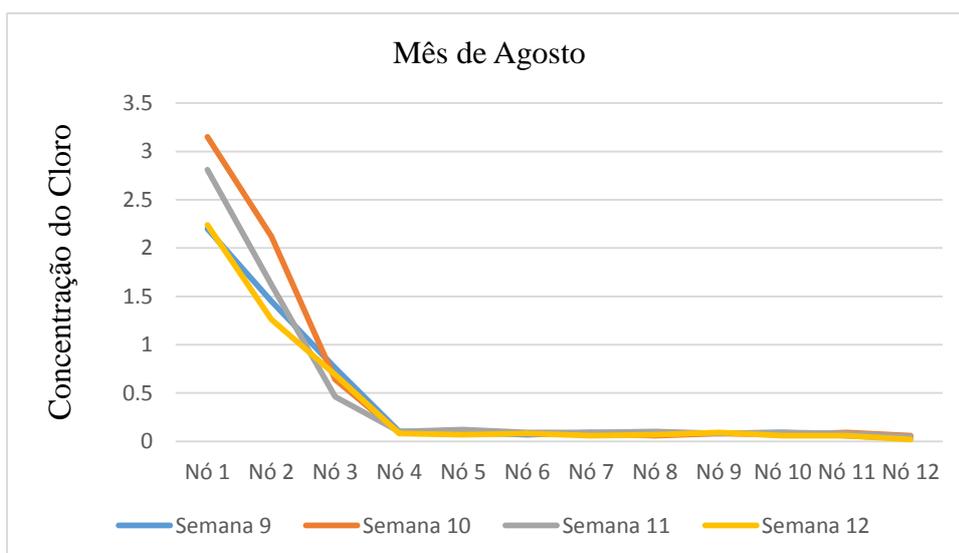


Figura 10. Decaimento do cloro residual no mês de Agosto (Dados de campo)

4.3 Modelação do decaimento do cloro residual no EPANET

Sabendo que a concentração de cloro decai à medida que a água desloca na rede, deu-se a necessidade de propor modelos que simulassem o decaimento levando em conta, as reações que acontecem com a parede da tubagem e as reações no fluxo líquido, além de levar em conta processos hidráulicos que intervêm nesse comportamento.

É impossível a criação de um modelo que engloba todos os sistemas e as variáveis que influenciam esse decaimento, pois o decaimento do cloro tem uma dinâmica complexa. Portanto observou-se necessidade de simplificação nos modelos para que se adequem a realidade. O decaimento do cloro numa rede de distribuição exige muito tempo de reserva pois ele é muito importante nas equações de modelagem de qualidade de água, e neste contexto colocou-se um tempo de reserva de 240 horas como ilustra a figura a 11.

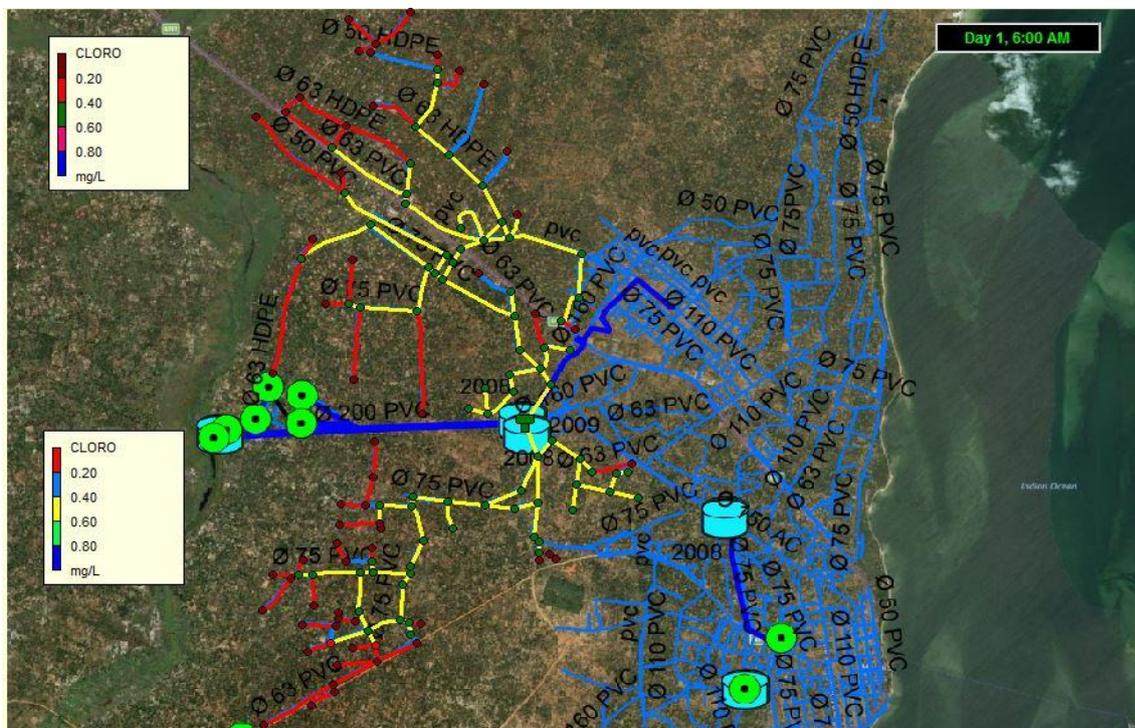


Figura 11. Dados de cloro simulados no EPANET

O contrário do que acontece com os dados de campo, o comportamento do decaimento no EPANET mesmo os parâmetros ficarem distantes dos valores reais, as concentrações do cloro residual ficam bem próximas as concentrações nos nós. Inicialmente pode-se concluir que a rede de distribuição da cidade da Maxixe, sob os aspetos de qualidade da água está minimamente calibrada pois as concentrações variam de 0.6mg/l como maior e 0.2mg/l como a menor de acordo com o Ministério da Saúde.

5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENTRE DADOS COLHIDOS E SIMULADOS NO SISTEMA.

5.1 Pressões

Como mostra o gráfico 12, os dados SAA da Cidade da Maxixe apresentam uma pressão variável que em certos pontos da rede de distribuição chegam a ser críticos não satisfazendo assim completamente o sistema chegando a cerca de 5.8 psi equivalente a 4.079 (m.c.a) em pontos mais críticos da rede. No que diz respeito a pressões altas no sistema há uma equivalência com os dados simulados no software que consistem em 28 m.c.a na rede e 28.8 m.c.a no Epanet. Segundo a Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT) lei n° 12.218 de 1994, diz que as zonas de pressão em redes de abastecimento de água potável estão situadas entre 15 e 50 m.c.a, tolerando-se ate 60m.c.a em ate 10% da área e ate 70 m.c.a em até 5% da mesma zona. Em circunstâncias especiais com populações de até 5000 habitantes pode-se trabalhar com pressões de até 6 m.c.a com garantias de que não haverá contaminação na rede de distribuição, afirmando assim que de acordo com a extensão da rede os dados de campo prejudicam o sistema em relação aos dados simulados.

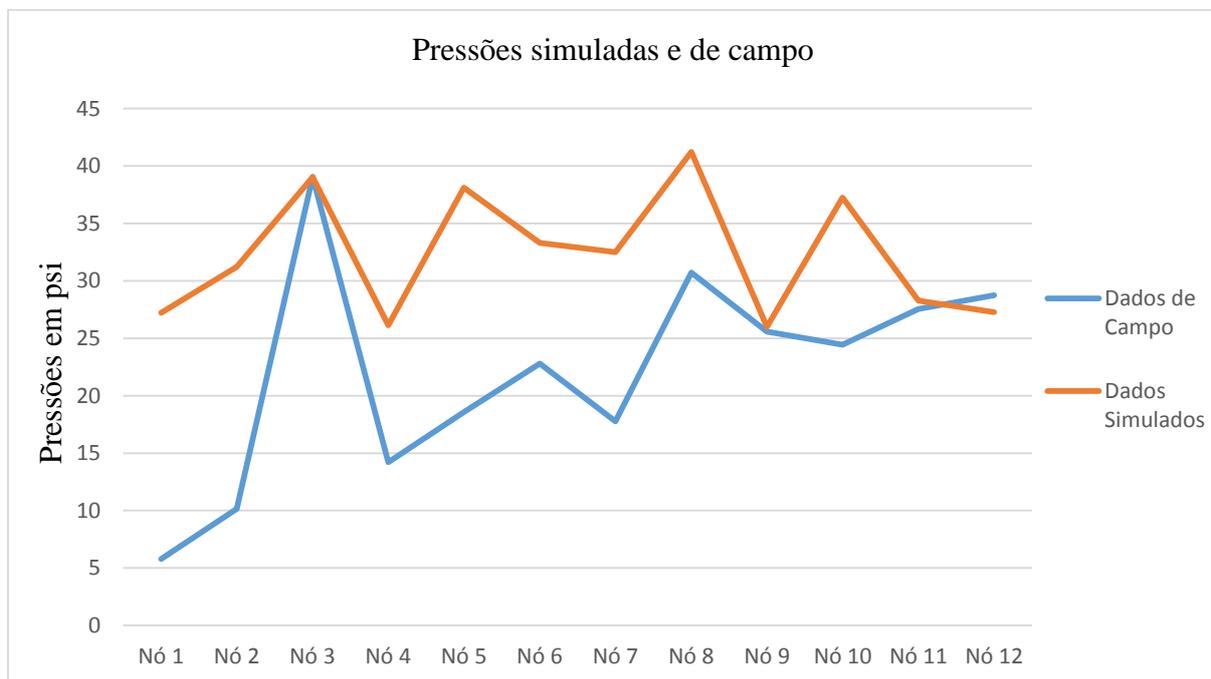


Figura 12. Pressões simuladas e de campo em (psi)

5.2 Variação da pressão na rede de distribuição ao longo do tempo

O gráfico 13 mostra o comportamento das pressões em pontos de recolha de amostras num intervalo de tempo de 18 horas alternado em 6 horas de medição por cada ponto repetido 3 vezes respetivamente. De acordo com o gráfico as pressões mais elevadas são encontradas na hora 12 pois é o período de menor consumo de água devido ao pouco fluxo de pessoas que geralmente se encontram nos seus postos de trabalho, á partir das 6 horas que corresponde ao período de maior consumo as pressões baixam drasticamente em alguns pontos nas extremidades da rede chegando em algumas circunstâncias a 5m.c.a em certos pontos da rede obrigando os operadores do sistema a fecharem algumas válvulas de retenção para que a água possa sair em pontos mais críticos da rede de distribuição, comprometendo assim o bom funcionamento da rede de distribuição da cidade da Maxixe. As 18 horas as pressões baixam novamente no sistema mas não é tão crítico comparando com o período da manhã pois do ponto de vista hidráulico esta é a hora em que o sistema funciona em perfeitas condições pois ele fica completamente estável.

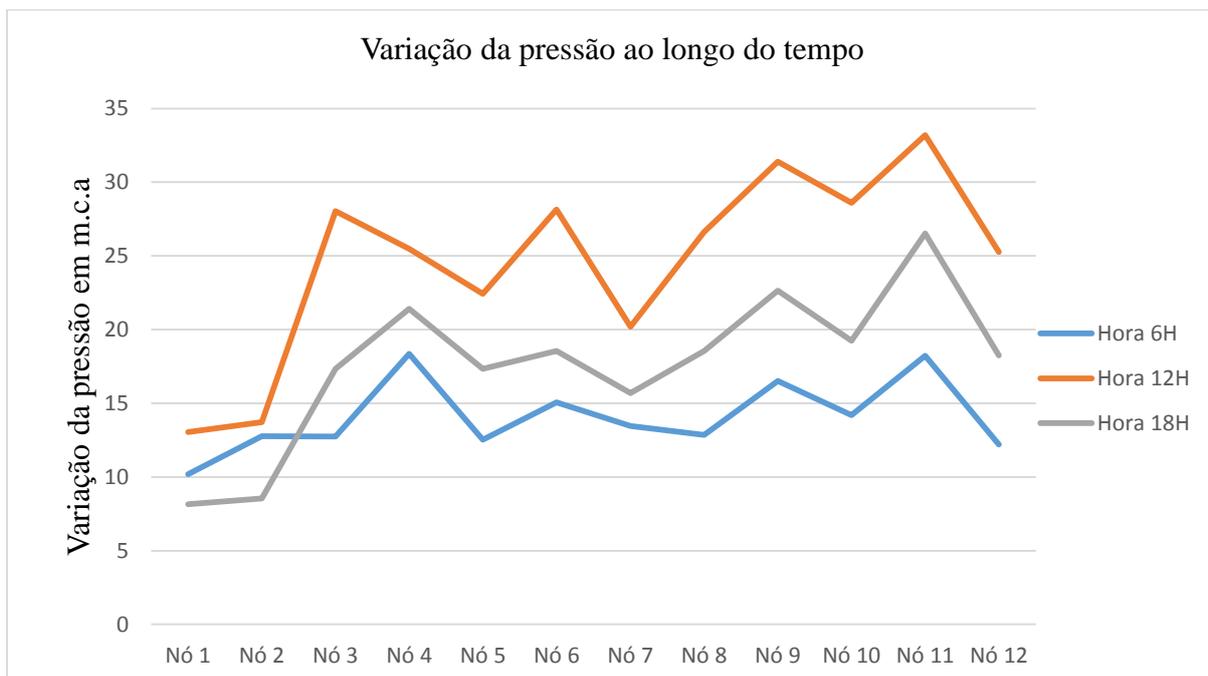


Figura 13. Variação da pressão ao longo do tempo em (m.c.a)

6. CONCLUSÕES

Os nós onde as concentrações do cloro baixaram drasticamente como o caso do nó 4, 5, ate 12 mostram os pontos mais críticos na rede de distribuição onde o cloro residual é quase nulo devido a um decaimento exponencial ao longo do tempo.

Após as medições e obtenção dos dados da pressão notou-se que os resultados são relativamente baixos nos pontos extremos do sistema podendo-se concluir que houve um crescimento populacional significativo que não vai de acordo com horizonte pelo qual o projeto foi dimensionado.

Para o decaimento do cloro residual o modelo pode determinar a ordem de decaimento tanto para as reações no seio do escoamento assim como para as reações na parede da tubagem.

O sistema da cidade da Maxixe é na sua maior parte constituído por tubulações do tipo PVC que faz com que os valores de K_w não tenham muito efeito no sistema de distribuição pois estão relacionados a efeitos como a rugosidade e idade das tubulações, colocando deste modo o K_b como o principal factor de decaimento de cloro na rede devido a reações com matéria orgânica, inorgânica e outros compostos presentes no sistema.

Pode-se considerar que foi alcançado o objetivo de elaborar uma rotina computacional que determine parâmetros de decaimento de cloro residual e gestão da pressão em sistemas de distribuição.

Os resultados encontrados indicam a viabilidade de se aplicar a rotina computacional (EPANET) para determinar os parâmetros de decaimento de cloro residual e variações de pressão em sistemas de distribuição.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomendo a expansão da rede de distribuição de água da Maxixe para que a pressão nos pontos críticos se estabilize.

Para o cloro residual se estabilize na rede e mantenha os padrões recomendados pelo sistema de saúde recomendo que coloquem pontos de injeção de cloro ao longo da rede, principalmente nos locais onde a água dos furos se cruza com a superficial.

Recomendo que as empresas gestoras de sistemas de abastecimento de água que usem com frequência o software EPANET para o controle das perdas e da qualidade da água pois ele mostrou ser eficiente porque conseguiu obter dados de simulação similares aos de campo, neste contexto pode facilitar o trabalho dos gestores do sistema que fazem as medições e coleta de dados de casa em casa podendo o EPANET fazer essas medições sem necessidade dos gestores percorrerem o sistema.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre, H., Coelho, S., Almeida, M., Vieira, P. (2005). Controlo de Perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Instituto da Água & Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Araújo, L.S., Ramos H., Coelho S.T. (2006). Pressure Control for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management. *Water Resources Management*. 20: 133-149.

CLARK, R., ROSSMAN L. A, WYNER L. J. (1995). Modeling distribution system water quality: Regulatory implication. *Journal of water resources planning and management*. V. 121, p. 423-428.

Coelho, S., Alegre H. (2002) A Avaliação do Desempenho Técnico de Sistemas de Saneamento Básico através da Simulação. Comunicação apresentada no curso de formação sobre simulação de sistemas Públicos de Abastecimento de Água. LNEC, Lisboa.

Coelho, S., Loureiro, D., Alegre, H. (2006). Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

Crouch, D. P. (1993). *Water Management in Ancient Greek Cities*. Oxford University Press, New York, EUA.

Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto. Diário da República n.º164 – I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Açores.

Decreto Regulamentar n 23/95 de 23 de Agosto. Diário da República n.º194 – I Série – B. Diário da República.

FIPAG da Maxixe. (2013). Relatórios do Piquete, Equipe que Administra as Perdas de Água no Sistema de Abastecimento de Água. Cidade de Maxixe.

INE, (2007). Instituto nacional de estatística. Censo da província de Inhambane.

Lambert, A. e Thornton, J., (2012). Pressure: Bursts relationships: influence of pipe material, validation of scheme results, and implications of extended asset life. in: *IWA WATER LOSS*.

LANGA at all. (2008). Plano Municipal de Gestão Ambiental do Município de Maxixe.

Loureiro, D., Coelho S.T., (2004). Manual do Utilizador EPANET 2.0 – Simulação Hidráulica e de Parâmetros de Qualidade em Sistemas de Transporte e Distribuição de Água (Tradução e Adaptação para língua Portuguesa). IRAR, LNEC, Lisboa. ISBN 972-99354-0-8.

MANFRINI, C. (1974) Técnicas de cloração. In: AZEVEDO NETTO, J. M (COORD). Desinfecção de águas, p 210, Sao Paulo: CETESB

MARTINHO N., COSTA C., MARIANO T., MOURATO S. (2006). Aplicacao de um modelo de simulação hidráulica e da qualidade de água no sistema de abastecimento de Abadia. In: 8º Congresso da água, Figueira da Foz, 13-17 de marco de 2006.

Mays, L. W. (2000). Water Distribution Systems Hand-book. McGraw-Hill, New York, EUA.

NHANOMBE, C. (2013). Descrição do sistema de abastecimento de água do FIPAG no Municipio da Maxixe.

Ormsbee, L. E. (2006). The History of Water Distribution Network Analysis: The Computer Age. 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, Cincinnati, Ohio, USA.

ROUHIAINEN C. J., TADE M. O., WEST G. (2023). Multi-objective genetic algorithm for optimal scheduling of chlorine dosing in water distribution system. Proc. Computing and Control for the Water industry.

Sá Marques, J. A. A. e Sousa, J. J. O. (2011). Hidráulica Urbana – Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais. 3ª Edição, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Salgado, S., (2008). Estudo dos Parâmetros do Decaimento do Cloro Residual em Sistemas de Distribuição de Água Tratada Considerando Vazamento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos.

SILVA, K. R. G., KISHI, R. T. (2003). Modelagem matemática do cloro em redes de distribuição de água. Saneare. Vol. 19, 26-40.

Thornton, J., STURM; R. e Kunkel, G., (2008). Water loss control. 2nded. New York. McGraw-Hill.

Vanier, D. J. (2000). Advanced asset management: tools and techniques, Innovations in Urban Infrastructure. APWA Congress, Louisville.

Sekhar M.; (2001). Disinfection By-product Formation in the Water Distribution System of Morehead, Kentucky. Dissertação (Mestrado). University of Cincinnati. KY.

Sousa, E., (2001). Saneamento Ambiental I, Sistemas de Distribuição de Água. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Hidráulica e dos Recursos Hídricos e Ambientais. Lisboa.

<https://www.eosconsultores.com.br/si>

9. APÊNDICES

9.1 Os cálculos das constantes de decaimento K_b e K_w foram obtidos pela seguinte equação:

$$C = C_0 e^{-tk}$$

$$-Kb = Ln (C|C_0)$$

Para o K_w :

$$K = Kb + Kw$$

Tabela 1: Coleta de amostras para o mês de junho

Local	Hora	Semana 1 [cl2]mg/l	Semana 2 [cl2]mg/l	Semana 3 [cl2]mg/l	Semana 4 [cl2]mg/l
Nó 1	8:10	2.9	2.6	2.7	2.21
Nó 2	8:25	2.2	1.25	2	1.66
Nó 3	8:40	1.14	0.29	1.11	0.16
Nó 4	8:55	0.1	0.11	0.13	0.06
Nó 5	9:10	0.1	0.09	0.1	0.11
Nó 6	9:25	0.09	0.09	0.09	0.09
Nó 7	9:40	0.09	0.07	0.08	0.17
Nó 8	9:55	0.09	0.09	0.09	0.09
Nó 9	10:10	0.1	0.09	0.07	0.13
Nó 10	10:25	0.08	0.06	0.09	0.18
Nó 11	10:40	0.06	0.06	0.07	0.14
Nó 12	10:55	0.04	0.02	0.04	0.04
Kb		0.0296	0.0325	0.0286	0.0267

Tabela 2. Coleta de amostras de cloro para o mês de julho

Local	Hora	Semana 5 [Cl₂]mg/l	Semana 6 [Cl₂]mg/l	Semana 7 [Cl₂]mg/l	Semana 8 [Cl₂]mg/l
Nó 1	8:10	2.8	3.1	3.2	2.64
Nó 2	8:25	0.48	2.41	2.81	1.58
Nó 3	8:40	0.18	0.19	0.66	0.69
Nó 4	8:55	0.08	0.07	0.13	0.1
Nó 5	9:10	0.09	0.09	0.11	0.09
Nó 6	9:25	0.09	0.09	0.1	0.06
Nó 7	9:40	0.1	0.08	0.12	0.08
Nó 8	9:55	0.09	0.09	0.09	0.09
Nó 9	10:10	0.1	0.1	0.1	0.07
Nó 10	10:25	0.09	0.09	0.11	0.06
Nó 11	10:40	0.14	0.06	0.1	0.06
Nó 12	10:55	0.03	0.04	0.06	0.02
Kb		0.0302	0.029	0.0265	0.0196

Tabela 3: Coleta de amostras de cloro para o mês de Agosto

Local	Hora	Semana 9 [Cl₂]mg/l	Semana 10 [Cl₂]mg/l	Semana 11 [Cl₂]mg/l	Semana 12 [Cl₂]mg/l
Nó 1	8:10	2.2	3.15	2.81	2.24
Nó 2	8:25	1.45	2.12	1.62	1.26
Nó 3	8:40	0.76	0.64	0.46	0.69
Nó 4	8:55	0.1	0.09	0.1	0.08
Nó 5	9:10	0.09	0.09	0.12	0.07
Nó 6	9:25	0.07	0.08	0.09	0.08
Nó 7	9:40	0.09	0.08	0.09	0.06
Nó 8	9:55	0.08	0.06	0.1	0.07
Nó 9	10:10	0.08	0.08	0.08	0.09

Nó 10	10:25	0.09	0.07	0.09	0.06
Nó 11	10:40	0.06	0.09	0.08	0.06
Nó 12	10:55	0.03	0.06	0.05	0.02
Kb		0.0286	0.0264	0.0268	0.0315

Tabela 4. Dados de pressão para o mês de junho

Semana	Data	Hora	Local	pressão (Kpa)	pressão (m.c.a)
I	04/06/2021	06:00	Nó	40	4.079
	04/06/2021	12:00		70	7.138
	04/06/2021	18:00		50	5.099
	04/06/2021	06:00	Nó	100	10.2
	04/06/2021	12:00		128	13.05
	04/06/2021	18:00		80	8.158
	04/06/2021	06:00	Nó	135	12.77
	04/06/2021	12:00		115	11.73
	04/06/2021	18:00		80	8.158
Semana	Data	Hora	Local	Pressao(Kpa)	Pressao(mca)
II	10/06/2021	06:00	Nó	171	17.44
	10/06/2021	12:00		172	17.54
	10/06/2021	18:00		125	12.75
	10/06/2021	06:00	Nó	125	12.75
	10/06/2021	12:00		275	28.04
	10/06/2021	18:00		170	17.34
	10/06/2021	06:00	Nó	143	14.58
	10/06/2021	12:00		245	24.98
	10/06/2021	18:00		165	16.83
Semana	Data	Hora	Local	Pressao(Kpa)	Pressao(mca)
III	17/06/2021	06:00	Nó	180	18.36
	17/06/2021	12:00		250	25.49
	17/06/2021	18:00		210	21.41

	17/06/2021	06:00	Nó	123	12.54
	17/06/2021	12:00		220	22.43
	17/06/2021	18:00		170	17.34
	17/06/2021	06:00	Nó	76	7.75
	17/06/2021	12:00		121	12.34
	17/06/2021	18:00		89	9.076
Semana	Data	Hora	Local	Pressao(Kpa)	Pressao(mca)
IV	24/06/2021	06:00	Nó	126	12.85
	24/06/2021	12:00		254	25.9
	24/06/2021	18:00		143	14.58
	24/06/2021	06:00	Nó	154	15.7
	24/06/2021	12:00		276	28.14
	24/06/2021	18:00		182	18.56
	24/06/2021	06:00	Nó	120	12.24
	24/06/2021	12:00		164	16.72
	24/06/2021	18:00		142	14.48

Tabela 5: Dados de pressão para o mês de julho

Semana	Data	Hora	Local	pressão (Kpa)	pressão (m.c.a)
I	01/07/2021	06:00	Nó	132	13.46
	01/07/2021	12:00		198	20.19
	01/07/2021	18:00		154	15.7
	01/07/2021	06:00	Nó	126	12.85
	01/07/2021	12:00		261	26.62
	01/07/2021	18:00		182	18.56
	01/07/2021	06:00	Nó	112	11.42
	01/07/2021	12:00		243	24.78
	01/07/2021	18:00		162	16.52
Semana	Data	Hora	Local	Pressao(Kpa)	Pressao(mca)
	08/07/2021	06:00	Nó	134	

II	08/07/2021	12:00		232	
	08/07/2021	18:00		181	
	08/07/2021	06:00		Nó	112
	08/07/2021	12:00		212	
	08/07/2021	18:00		143	
	08/07/2021	06:00		Nó	97
	08/07/2021	12:00		187	
	08/07/2021	18:00		106	
Semana	Data	Hora	Local	Pressao(Kpa)	Pressao(mca)
III	15/07/2021	06:00	Nó	181	
	15/07/2021	12:00		278	
	15/07/2021	18:00		201	
	15/07/2021	06:00	Nó	87	
	15/07/2021	12:00		173	
	15/07/2021	18:00		122	
	15/07/2021	06:00	Nó	93	
	15/07/2021	12:00		188	
	15/07/2021	18:00		123	
Semana	Data	Hora	Local	Pressao(Kpa)	Pressao(mca)
IV	22/07/2021	06:00	Nó	145	
	22/07/2021	12:00		287	
	22/07/2021	18:00		156	
	22/07/2021	06:00	Nó	128	
	22/07/2021	12:00		239	
	22/07/2021	18:00		156	
	22/07/2021	06:00	Nó	129	
	22/07/2021	12:00		289	
	22/07/2021	18:00		187	

Tabela 6: Dados de pressão para o mês de Agosto

Semana	Data	Hora	Local	pressão (Kpa)	pressão (m.c.a)
I	29/07/2020	06:00	Nó	118	
	29/07/2020	12:00		252	
	29/07/2020	18:00		152	
	29/07/2020	06:00	Nó	143	
	29/07/2020	12:00		264	
	29/07/2020	18:00		171	
	29/07/2020	06:00	Nó	129	
	29/07/2020	12:00		256	
	29/07/2020	18:00		202	
Semana	Data	Hora	Local	Pressao(Kpa)	Pressao(mca)
II	05/08/2021	06:00	Nó	126	
	05/08/2021	12:00		283	
	05/08/2021	18:00		169	
	05/08/2021	06:00	Nó	112	
	05/08/2021	12:00		232	
	05/08/2021	18:00		164	
	05/08/2021	06:00	Nó	100	
	05/08/2021	12:00		167	
	05/08/2021	18:00		121	
Semana	Data	Hora	Local	Pressao(Kpa)	Pressao(mca)
III	12/08/2021	06:00	Nó	118	
	12/08/2021	12:00		252	
	12/08/2021	18:00		152	
	12/08/2021	06:00	Nó	143	
	12/08/2021	12:00		264	
	12/08/2021	18:00		171	
	12/08/2021	06:00	Nó	129	
	12/08/2021	12:00		256	
	12/08/2021	18:00		202	
Semana	Data	Hora	Local	Pressao(Kpa)	Pressao(mca)

IV	20/08/2021	06:00	Nó	126	
	20/08/2021	12:00		283	
	20/08/2021	18:00		169	
	20/08/2021	06:00	Nó	112	
	20/08/2021	12:00		232	
	20/08/2021	18:00		164	
	20/08/2021	06:00	Nó	100	
	20/08/2021	12:00		167	
	20/08/2021	18:00		121	

Segundo Coelho, S. T., et al., 2006 Numa primeira fase que antecede o carregamento de dados para o modelo, serão configuradas as opções essenciais do programa, particularmente as unidades das principais grandezas consideradas na modelação. Estas são fundamentais para o carregamento dos dados que descrevem o modelo e para a formulação dos seus resultados.

Fonte: (Coelho et al., 2006)

9.3 Tabela6: Cotas da cidade da Maxixe

Na tabela estão os dados do levantamento topográfico que foram inseridos em cada nó.

Pontos	Distancia entre os pontos em (Km)	Cotas	Pontos	Distancia entre os pontos em (Km)	Cotas
1	0	36	30	5	32
2	1	35	31	0	33
3	2	36	32	1	32
4	3	36	33	2	32
5	4	37	34	3	34
6	5	35	35	4	34
7	0	36	36	5	34
8	1	34	37	0	32
9	2	35	38	1	34
10	3	34	39	2	34
11	4	36	41	3	35
12	5	34	41	4	36
13	0	35	42	5	35
14	1	36	43	0	32
15	2	36	44	1	33
16	3	37	45	2	33
17	4	34	46	3	34
18	5	34	47	4	35
19	0	35	48	5	34
20	1	34	49	0	34
21	2	34	50	1	36
22	3	34	51	2	35
23	4	34	52	3	34
24	5	34	53	4	34
25	0	34	54	5	34
26	1	34	55	0	35
27	2	34	56	1	35

28	3	37	57	2	34
29	4	36	58	3	33

9.4 Conversão de unidades de pressão

Tabela 7: Conversão de unidades

1 m.c.a.	9810 Pa
1 bar	10^5 Pa
1 Kg/cm ²	10 000 Kg/m ²
1 Kg/cm ²	98 066 Pa
1 Kg/cm ²	10 m.c.a.
100 kPa	10 m.c.a.

Fonte: (Coelho *et al.*, 2006)

10. Detalhes do dimensionamento de um sistema de abastecimento e tratamento de água

10.1 Previsão dos consumos domésticos e totais

Para dimensionar a rede de abastecimento e transporte de água deverá ter-se em consideração as necessidades de cada habitante, isto é, a capitação. Nestas condições, foi proposta a estimativa das seguintes capitações como valores de referência:

Residentes: 50 l/hab.dia.

Para o dimensionamento de sistema de tratamento e abastecimento de água foram usadas as equações apresentadas na metodologia.

Caudal médio

$$Q_{\text{med}} = \frac{P * q}{86400}$$

$$Q_{\text{med}} = \frac{96535\text{hab} * 100\text{l/hab/dia}}{86400}$$

$$Q_{\text{med}} = 111.73 \text{ l/s}$$

Caudal de bombeamento, diário e horário

Caudal de bombeamento

$$Q = \frac{P * q}{24 * 3600}$$

$$Q = \frac{96535 * 100}{24 * 3600} = 111,73 \text{ l/s}$$

Caudal diário

$$Q_D = Q_{\text{med}} * K1$$

$$Q_D = 111.73 * 1.2 = 134.08\text{l/s}$$

Caudal horário

$$Q_h = Q_{\text{med}} * K1 * K2$$

$$Q_h = 111,73 * 1.2 * 1.5 = 201,12 \text{ l/s}$$

Volume do reservatório

O reservatório deverá ter a capacidade de acumular 500m³ de água e abastece durante 24h por dia.

Tempo: 24h

$$D_{ag} = \frac{Q}{T}$$

$$D_{ag} = \frac{500\text{m}^3}{24}$$

$$D_{ag} = 20,83 \text{ l/h}$$

$$D_{ag} = \frac{20,83 \text{ l/h}}{3600}$$

$$D_{ag} = 5,8 \text{ l/s}$$

Tabela 9: Dados simulados no EPANET

	Consumo-Base	Consumo	Pressão
ID do Nó	LPS	LPS	psi
Nó 2	0.05	0.05	28.16
Nó 3	0.05	0.05	28.16
Nó 4	0.05	0.05	29.46
Nó 5	0.05	0.05	29.46
Nó 6	0.05	0.05	29.46
Nó 7	0.05	0.05	29.46
Nó 8	0.05	0.05	29.46
Nó 9	0.05	0.05	29.46
Nó 10	0.05	0.05	29.90
Nó 11	0.05	0.05	29.90
Nó 12	0.05	0.05	30.33
Nó 13	0.05	0.05	29.46
Nó 14	0.05	0.05	29.46
Nó 15	0.05	0.05	29.46
Nó 16	0.05	0.05	30.76
Nó 17	0.05	0.05	30.76
Nó 18	0.05	0.05	30.76
Nó 19	0.05	0.05	30.76
dNó 20	0.05	0.05	30.76
Nó 21	0.05	0.05	30.76
Nó 22	0.05	0.05	30.33
Nó 23	0.05	0.05	30.33
Nó 24	0.05	0.05	30.76
Nó 25	0.05	0.05	30.76
Nó 26	0.05	0.05	29.46
Nó 27	0.05	0.05	29.90
Nó 28	0.05	0.05	30.33
Nó 29	0.05	0.05	30.33
Nó 30	0.05	0.05	30.33
Nó 31	0.05	0.05	30.33
Nó 32	0.05	0.05	30.33
Nó 33	0.05	0.05	30.33
Nó 34	0.05	0.05	29.90
Nó 35	0.05	0.05	30.33
Nó 36	0.05	0.05	29.90
Nó 37	0.05	0.05	30.33
Nó 38	0.05	0.05	30.33
Nó 39	0.05	0.05	30.33
Nó 40	0.05	0.05	29.90
Nó 41	0.05	0.05	29.90
Nó 42	0.05	0.05	29.90

Nó 43	0.05	0.05	29.90
Nó 44	0.05	0.05	29.90
Nó 45	0.05	0.05	29.46
Nó 46	0.05	0.05	29.46
Nó 47	0.05	0.05	30.33
Nó 48	0.05	0.05	29.46
Nó 49	0.05	0.05	29.46
Nó 50	0.05	0.05	29.46
Nó 51	0.05	0.05	29.46
Nó 52	0.05	0.05	29.90
Nó 53	0.05	0.05	29.46
Nó 54	0.05	0.05	29.46
Nó 55	0.05	0.05	29.46
Nó 56	0.05	0.05	29.90
Nó 57	0.05	0.05	29.46
Nó 58	0.05	0.05	29.46
Nó 59	0.05	0.05	29.90
Nó 60	0.05	0.05	29.90
Nó 61	0.05	0.05	29.90
Nó 62	0.05	0.05	29.90
Nó 63	0.05	0.05	29.46
Nó 64	0.05	0.05	29.90
Nó 65	0.05	0.05	29.90
Nó 66	0.05	0.05	29.46
Nó 67	0.05	0.05	29.46
Nó 68	0.05	0.05	29.46
Nó 69	0.05	0.05	29.46
Nó 70	0.05	0.05	29.46
Nó 71	0.05	0.05	30.33
Nó 72	0.05	0.05	29.90
Nó 73	0.05	0.05	29.90
Nó 74	0.05	0.05	29.90
Nó 75	0.05	0.05	30.33
Nó 76	0.05	0.05	29.46
Nó 77	0.05	0.05	29.46
Nó 78	0.05	0.05	29.46
Nó 79	0.05	0.05	29.46
Nó 80	0.05	0.05	29.46
Nó 81	0.05	0.05	29.90
Nó 82	0.05	0.05	29.90
Nó 83	0.05	0.05	29.90
Nó 84	0.05	0.05	29.90
Nó 85	0.05	0.05	29.46
Nó 86	0.05	0.05	29.46
Nó 87	0.05	0.05	29.90

Nó 88	0.05	0.05	29.90
Nó 89	0.05	0.05	29.46
Nó 90	0.05	0.05	29.46
Nó 91	0.05	0.05	30.33
Nó 92	0.05	0.05	29.90
Nó 93	0.05	0.05	30.33
Nó 94	0.05	0.05	30.33
Nó 95	0.05	0.05	29.46
Nó 96	0.05	0.05	29.46
Nó 97	0.05	0.05	30.33
Nó 98	0.05	0.05	30.33
Nó 99	0.05	0.05	29.46
Nó 100	0.05	0.05	29.90
Nó 102	0.05	0.05	29.46
Nó 103	0.05	0.05	30.33
Nó 104	0.05	0.05	29.46
Nó 105	0.05	0.05	29.90
Nó 106	0.05	0.05	30.76
Nó 107	0.05	0.05	30.33
Nó 108	0.05	0.05	30.33
Nó 109	0.05	0.05	30.33
Nó 110	0.05	0.05	29.46
Nó 111	0.05	0.05	30.33
Nó 112	0.05	0.05	30.33
Nó 113	0.05	0.05	30.33
Nó 114	0.05	0.05	30.33
Nó 115	0.05	0.05	29.46
Nó 116	0.05	0.05	29.46
Nó 117	0.05	0.05	29.90
Nó 118	0.05	0.05	29.90
Nó 119	0.05	0.05	29.46
Nó 120	0.05	0.05	29.90
Nó 121	0.05	0.05	30.33
Nó 122	0.05	0.05	29.90
Nó 123	0.05	0.05	30.33
Nó 124	0.05	0.05	29.90
Nó 125	0.05	0.05	30.33
Nó 126	0.05	0.05	29.46
Nó 127	0.05	0.05	29.46
Nó 128	0.05	0.05	29.46
Nó 129	0.05	0.05	29.46
Nó 130	0.05	0.05	29.03
Nó 131	0.05	0.05	29.46
Nó 132	0.05	0.05	29.90
Nó 133	0.50	0.50	29.46

