



Ana Isabel Santos Olaia
Licenciatura em Engenharia de Recursos Hídricos

Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água através de Modelação Hidráulica

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do
Ambiente - Perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Professor Doutor António Pedro de Macedo
Coimbra Mano, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Júri:

Presidente: Professor Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho
Arguente: Professor Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho
Vogais: Professora Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral
Professor Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano



Outubro de 2012

Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água através de Modelação Hidráulica

Ana Isabel Santos Olaia

Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa

‘Copyright’

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Eduardo

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à contribuição de várias pessoas a quem desejo manifestar o meu agradecimento.

Ao Professor Doutor António Pedro Mano, pela orientação, compreensão e ajuda no desenvolvimento deste projeto de investigação. Agradeço ainda a disponibilidade, sempre que solicitado, no acompanhamento e em especial na sua revisão final.

À administração da Proplano, pela possibilidade de utilizar o projeto de execução do sistema de abastecimento de água de consumo do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga, como caso de estudo neste trabalho.

Ao Eng. Sequeira Ribeiro pela participação no projeto de execução do sistema de abastecimento de água de consumo do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga.

Ao Eng. Eduardo Cavaco, por toda a informação fornecida sobre o Instituto de Investigação Agrária de Chianga, conhecimento transmitidos e colaboração prestada na elaboração deste trabalho.

Aos meus colegas da Proplano, por todo o companheirismo e colaboração.

Ao meu filho e marido, Eduardo e Valentim pela sua amizade, conforto, incentivo e proteção.

Por fim, um agradecimento especial aos meus pais, Ana Rosa e António, pelo incentivo, apoio e compreensão.

A todos aqueles que não tendo sido mencionados, de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

A todos, o meu obrigado.

RESUMO

Atualmente, perante os atuais problemas de escassez de água, o recurso à modelação matemática na simulação de sistemas de abastecimento constitui, cada vez mais, uma ferramenta essencial para uma gestão eficiente das entidades gestoras, nomeadamente no que se refere aos usos da água. O domínio de aplicação dos modelos de simulação é diverso, incluindo as atividades de planeamento, projeto, operação e manutenção.

O trabalho é iniciado com o levantamento do estado da arte dos modelos de simulação hidráulica de sistemas de abastecimento de água. Os modelos descritos foram os seguintes: Hidrocad, Epanet, Strumap, Synergee Watercad e I.N.S.S.A.A., desenvolvido pelo LNEC. Posteriormente, efetuou-se uma análise comparativa, com o objetivo de eleger o modelo com as melhores características técnico – económicas, a aplicar na simulação de um sistema de abastecimento.

O modelo de simulação hidráulica aplicado ao caso de estudo, Sistema de Abastecimento de Água do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga, em Angola foi o Epanet 2.0. A partir dos resultados obtidos formulam-se vários cenários de dimensionamento do sistema e de sugestões para implementar em fase de exploração. Os cenários apresentados, e todos os que futuramente possam ser criados permitem uma otimização da eficiência do sistema ao nível de dimensionamento, gestão e planeamento.

Os sistemas de abastecimento de água são normalmente complexos, o que fundamenta o desenvolvimento e utilização dos modelos de simulação hidráulica. O desenvolvimento do caso de estudo permitiu a verificação e validação de parte substantiva dos pressupostos associados à mais valia da aplicação daquele tipo de modelos, nomeadamente no que se refere à verificação das condições hidráulicas (diâmetros, velocidades e pressões), para os vários cenários avaliados.

Palavras Chave: Modelos de Simulação Hidráulica, Sistemas de Abastecimento de Água, Dimensionamento, Gestão.

ABSTRACT

Today, given the current problems of water scarcity, the recourse to mathematical modeling to simulate supply systems is, more and more, an essential tool for an efficient management of the management entities, particularly in regard to water use. The field of application the simulation models is diverse, including the activities of planning, design, operation and maintenance.

This work has started with a state-of-the-art review in water distribution of the simulation models of hydraulic systems for water supply. The models described were the following: Hidrocad, Epanet, Strumap, SynerGee Watercad e INSSAA developed by LNEC. After, we performed a comparative analysis, in order to choose the model with the best technical – economic characteristics, to be applied in the simulation of a supply system.

The hydraulic simulation model applied to the case study, Water Supply System of the Institute of Agronomic Research Chianga, Angola was the Epanet 2.0. From the results obtained several scenarios are formulated, of system design and suggestions in the exploration stage. The scenarios presented, and all that can be created in the future allow an optimization of the efficiency of system-level design, management and planning.

The water supply systems are usually complex, which based the development and utilization of hydraulic simulation models. The development of the case study allowed the verification and validation of a substantial part of the assumptions associated with added value of the application of this type of models, particularly in relation to the verification of hydraulic conditions (diameters, pressures and velocities) for the several evaluated scenarios.

Key words: Hydraulic Simulation Models, Systems of Water Supply, Dimensioning, Management.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO E METODOLOGIA	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1.	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SUA EVOLUÇÃO	5
3.2.	SIMULAÇÃO HIDRÁULICA APLICADA A SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA ..	7
3.3.	PRINCIPAIS MODELOS DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	10
3.3.1.	MODELO HIDROCAD	11
3.3.2.	MODELO EPANET	15
3.3.3.	MODELO WATERCAD	20
3.3.4.	MODELO STRUMAP	23
3.3.5.	MODELO SYNERGEE WATER	27
3.3.6.	MODELO INSSAA	30
3.4.	SELEÇÃO DO MODELO	35
4.	CASO DE ESTUDO	45
4.1.	INTRODUÇÃO	45
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46
4.2.1.	ENQUADRAMENTO LOCAL	46
4.2.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS ÓRGÃOS QUE CONSTITUEM O SISTEMA DE ABASTECIMENTO	48
4.2.2.1.	CAPTAÇÃO	48
4.2.2.2.	ADUÇÃO (CONDUTA ELEVATÓRIA)	51
4.2.2.3.	INSTALAÇÃO DE TRATAMENTO	54
4.2.2.4.	DISTRIBUIÇÃO	57
4.2.2.5.	RESERVA E CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO	57
4.3.	APLICAÇÃO DO MODELO EPANET	58

4.4. PLANEAMENTO DO MODELO	60
4.5. CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	61
4.5.1.DESCRICÃO FÍSICAS DO SISTEMA.....	63
4.5.2.ATRIBUTOS DOS ELEMENTOS DA REDE.....	68
5. RESULTADOS	71
5.1. IMPLANTAÇÃO DA SOLUÇÃO BASE	71
5.1.1.VERIFICAÇÃO DO MODELO	71
5.1.2.SIMULAÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	72
5.2. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS	79
5.2.1.CENÁRIO 1 – VERIFICAÇÃO DE REDE DE INCÊNDIOS	79
5.2.2.CENÁRIO 2 – INSTALAÇÃO DE VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO	81
5.2.3.CENÁRIO 3 – REPARAÇÃO DE UMA CONDUTA	84
5.2.4.CENÁRIO 4 – SUBSTITUIÇÃO DE UMA CONDUTA POR OUTRA DE DIÂMETRO SUPERIOR.....	89
6. DISCUSSÃO	91
7. CONCLUSÕES	95
8. BIBLIOGRAFIA.....	99

Anexo I – Caudal de dimensionamento para abastecimento do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga

Anexo II – Análises de água da lagoa de captação para abastecimento público ao Instituto de Investigação Agronómica de Chianga

Anexo III – Estimativa de consumos efetuada através do método dos Coeficientes de Utilização (C.U.) para o do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga

Anexo IV – Resultados do modelo de simulação

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com identificação dos componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal	7
Figura 3.2 – Funcionalidade de um modelo de simulação hidráulica de abastecimento de água	8
Figura 3.3 – Rede de distribuição dimensionada no Hidrocad	14
Figura 3.4 – Modelo de simulação hidráulica através do Epanet	19
Figura 3.5 – Modelo Watercad	22
Figura 3.6 – Resultados dos dados espaciais.....	25
Figura 3.7 – Exemplo de aplicação do Synergie Water ao sistema de abastecimento da zona industrial da ilha de Sawan, UK	29
Figura 3.8 – Resultados do tratamento de dados de uma rede de abastecimento	34
Figura 4.1 – Localização do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga	45
Figura 4.2 – Planta geral do sistema de abastecimento do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga	48
Figura 4.3 – Passadiço flutuante de acesso à jangada de apoio à bomba	50
Figura 4.4 –Jangada de apoio à bomba,.....	51
Figura 4.5 – Pormenor de “berço” para a bomba.....	51
Figura4.6 – Diagrama de processo da ETA.....	55
Figura 4.7 – ETA compacta.....	56
Figura 4.8 – Esquema da estrutura do modelo Epanet	61
Figura 4.9 – Rede de abastecimento do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga	63
Figura 5.1 – Distribuição de cotas topográficas do sistema de abastecimento	74
Figura 5.2 – Distribuição da pressão de serviço no sistema de abastecimento	76
Figura 5.3 – Distribuição dos diâmetros no sistema de abastecimento.....	78

Figura 5.4 – Distribuição da velocidade no sistema de abastecimento	79
Figura 5.5 – Verificação da Rede de Incêndio	80
Figura 5.6 - Efeito da utilização de uma VRP no controlo da pressão	82
Figura 5.7 – Localização da VRP	83
Figura 5.8 – Reparação de Troço T341	84
Figura 5.9 – Esquema da tubagem T341 e sentido de escoamento antes da reparação	85
Figura 5.10 – Esquema da tubagem T341 e sentido de escoamento durante a reparação.....	86

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Programação INSSAA: objetivos e resultados de cada fase.....	32
Tabela 3.2 – Tabela comparativa de modelos de simulação hidráulica	36
Tabela 3.3 – Tabela comparativa das características dos modelos de simulação hidráulica apresentados	42
Tabela 4.1 - Pré dimensionamento da conduta adutora	52
Tabela 4.2 - Elementos utilizados para a modelação de uma rede	59
Tabela 4.3 – Principais grandezas usadas na modelação.....	62
Tabela 4.4 – Resumos dos diâmetros aplicados no Sistema de Abastecimento	69
Tabela 5.1 – Valores de pressão e caudal em cada nó com a tubagem T341 aberta	88
Tabela 5.2 – Valores de pressão e caudal em cada nó com a tubagem T341 fechada.....	89
Tabela 5.3 – Características da tubagem antes do aumento de consumo	90
Tabela 5.4 – Características da tubagem depois do aumento de consumo.....	91
Tabela 5.5 – Alteração do diâmetro da tubagem depois do aumento de consumos.....	91

ABREVIATURAS

AGS-Administração e Gestão de Sistemas de Salubridade,S.A

CU - coeficientes de utilização

DN – Diâmetro nominal

DQA - Directiva–Quadro da Água

DR – Decreto regulamentar

EG - entidades gestoras

ETA – Estação de tratamento de água

ID – Identificação de dados

INSSAA - Iniciativa Nacional para a Simulação de Sistemas de Abastecimento de Água

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

mca – Metros de coluna de água

MSH – Modelo de Simulação Hidráulica

PDD - consumo dependente da pressão

PE - Polietileno

PEAD - polietileno de alta densidade

PN – pressão nominal

PRV – o valor da pressão em metros

RNF - reservatórios de nível fixo

RNV - reservatórios de nível variável

SIG – Sistema de informação geográfica

SMAS – Sistema municipal de água e saneamento

USEPA - Environmental Protection Agency

VRP – válvula redutora de pressão

VSP - bombagem de velocidade variável

1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento sustentável da sociedade, a água é um meio de subsistência, tendo um papel determinante na sobrevivência do Homem. A ocupação do território, a alteração da paisagem natural e a evolução das civilizações foram progressivamente condicionados ou incentivados pela disponibilidade de recursos hídricos. Assim, os sistemas de captação, adução e distribuição de água assumiram particular interesse, sobretudo em regiões onde a sua disponibilidade é irregular, devido ao regime pluviométrico e hidrológico. Esta realidade é vivida em muitas partes do mundo, nomeadamente no continente africano, onde a água é um recurso limitado em muitos países.

Apesar da superfície do planeta ser coberta por cerca de 70% de água, esta continua a ser um bem escasso. Esta situação decorre do facto da quantidade de água disponível ser maioritariamente água salgada e ser necessário o recurso a tecnologias dispendiosas, tais como dessalinização, para a tornar potável. Por outro lado um volume significativo de água apresenta-se sob a forma de gelo (Proclira, 2007).

Até final do século XIX, o controlo do risco para a saúde pública por transmissão de doenças provocadas por consumo de água era efetuado de forma intuitiva, sendo o principal parâmetro de análise a aparência física da água. As investigações epidemiológicas desenvolvidas por John Snow, apontaram para uma interligação entre o consumo de água com contaminação fecal e um surto de cólera em Londres (Snow, 1855). Posteriormente, efetuaram-se outras descobertas científicas, associadas ao consumo de água e à saúde pública, tais como:

- A descoberta da existência de microrganismos por Louis Pasteur (1863);
- Os avanços científicos nos métodos de deteção de microrganismos por Robert Cock (isolamento do bacilo *Vibrio cholerae*, em 1883).

É neste contexto que no início do século XX, após várias vagas de surtos epidémicos de cólera e febre tifóide na Europa, se desenvolveram meios técnicos e imposições legais para a desinfeção da água em sistemas públicos de abastecimento. Estabelecia-se assim, em larga escala e de forma simples, o controlo de doenças transmitidas por via hídrica, causadas por contaminação microbiológica (Vieira J., 2005).

Em consequência, os hábitos e costumes da generalidade das pessoas mudaram com a disponibilidade de água em quantidade e em qualidade. Os hábitos de higiene aumentaram com esta nova atitude das pessoas, o que permitiu um controlo de doenças, sobretudo da cólera, que vitimou, nas últimas décadas, dezenas de crianças e adultos em países sub desenvolvidos (Vieira P., 2005).

O aumento da procura de água deve-se sobretudo à expansão das áreas urbanas, consequência do aumento populacional bem como dos modernos hábitos de vida (que geraram um aumento da capitação). Estes hábitos aumentaram a um ritmo exponencial, e com eles aumentou também a quantidade de água despendida para os vários usos quotidianos, tais como, limpeza, higiene, recreio, etc.. Poderá assim afirmar-se que a água, quer em quantidade quer em qualidade, é um fator condicionante do desenvolvimento económico e do bem-estar social.

A Directiva–Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000) (DQA, 2009) estabeleceu um quadro de ação comunitária das águas de superfície interiores e lançou novos desafios na melhoria dos problemas de recursos hídricos.

Há no entanto inúmeros países, nomeadamente em Africa, que carecem de infraestruturas de abastecimento de água, apesar da legislação em vigor, como é o caso de Angola. Este facto reflete-se necessariamente no quotidiano das populações.

De facto, embora Angola ainda seja um país com sistemas de abastecimento de água muito deficitários, o seu governo apresentou, em 2007, um programa intitulado “Água para Todos”, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 58/07, de 27 de Junho. Este programa tem por objetivo garantir o acesso a água potável a pelo menos a 80% da população rural até ao ano de 2012 (portal oficial do governo de Angola, 2011). Uma das grandes preocupações do governo angolano relativamente ao equipamento de infraestruturas, prende-se com a implantação de sistemas de abastecimento de água. No entanto, o crescimento exponencial da população dificulta a cobertura do abastecimento de água a todas as zonas (GLA Advogados, Guia de investimento, 2011).

2. OBJETIVO E METODOLOGIA

O presente trabalho tem por objetivo efetuar uma revisão dos principais modelos de simulação hidráulica (MSH) disponíveis, para a conceção e gestão de um sistema de abastecimento de água. Àquela análise, aplica-se o modelo que se elegeu como sendo o que constitui o melhor compromisso técnico - económico a um caso de estudo, onde se formulam vários cenários e onde se efetua a análise dos mesmos.

O presente trabalho está organizado em 7 capítulos, os quais se passam a apresentar de forma sucinta.

O **Capítulo 1** é constituído pela introdução com a apresentação geral do assunto abordado.

O **Capítulo 2** descreve os objetivos e estrutura do trabalho.

No **Capítulo 3** efetua-se uma revisão bibliográfica. Apresentam-se alguns dos modelos computacionais mais utilizados, bem como a sua importância e as respetivas vantagens e desvantagens para o utilizador. Os modelos descritos incluem: Hidrocad, Epanet, Watercad, Strumap, SynerGee e INSSAA desenvolvido pelo LNEC. Elabora-se uma comparação entre os mesmos e elege-se um dos modelos para efetuar a simulação do caso de estudo apresentado no capítulo seguinte.

O **Capítulo 4** descreve o caso de estudo – o Sistema de Abastecimento de Água ao Instituto de Investigação Agronómica de Chianga, localizado em Chianga, na província de Huambo, República de Angola. Este capítulo tem início com uma breve caracterização da área de estudo e das suas características biofísicas. Posteriormente, descrevem-se os elementos físicos constituintes do sistema. Apresentam-se as principais características e funcionalidades do programa Epanet e todas as vantagens que advêm da sua utilização. Por último, apresentam-se as linhas de orientação seguidas para modelar o sistema, assim como, a descrição da solução base adotada.

No **Capítulo 5** apresentam-se os resultados da análise efetuada, incluindo a formulação de vários cenários.

No **Capítulo 6** apresenta-se a discussão efetuada do trabalho, com a análise dos cenários formulados, extrapolação para situações que possam ocorrer no futuro e sugestões para implementar em fase de exploração do sistema.

O **Capítulo 7** é constituído pelas conclusões gerais do estudo, bem como recomendações para trabalhos futuros.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SUA EVOLUÇÃO

Desde sempre, a água assume um papel vital para a humanidade. Assim, com os atuais problemas de insuficiência de água, a modelação matemática na simulação de sistemas de abastecimento, apresenta-se cada vez mais, como uma ferramenta fundamental para uma conceção e gestão técnica eficiente, das várias atividades que são do domínio das entidades gestoras e dos projectistas (Coelho et al, 2006).

No entanto, para que seja possível implementar os atuais MSH houve um longo processo de evolução. O estudo dos sistemas de abastecimento e distribuição de água tiveram início antes do desenvolvimento dos programas de simulação hidráulica. Numa fase anterior à era da informática, os engenheiros já projetavam, construían e geriam sistemas de abastecimento e distribuição de água, mas de um modo experimental ou através de cálculo manual.

Numa fase anterior aos MSH terem sido desenvolvidos, o dimensionamento dos sistemas de abastecimento e distribuição de água era efetuado com recurso a ábacos e à aplicação de escalas logarítmicas de forma a simplificar as expressões. Apresentam-se de seguida alguns exemplos da evolução da engenharia neste domínio.

Freeman, no final do século XIX, desenvolveu métodos gráficos para resolver problemas com condutas em paralelo e métodos equivalentes foram utilizados, para decompor problemas mais complexos no século XX (Ramalingam *et al.*, 2003).

Em 1936, Hardy Cross, na Universidade de Illinois, desenvolveu um processo tabelar sistemático para calcular sistemas hidráulicos (Cross, H. 1936). O método de Cross era uma variação de um método que o autor tinha desenvolvido para resolver equações estruturais. O método de Hardy Cross é, certamente, o mais antigo e o de maior divulgação para o cálculo das condições de equilíbrio hidráulico de sistemas de distribuição de água, integrando as matérias manuseadas na maioria dos livros de texto de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos (Quintela, 2000). Antes dos sistemas de distribuição serem calculados por intermédio de programas, foi quase o único método utilizado. Contudo, com as capacidades cada vez maiores dos métodos computacionais, por um lado, e com a maior sofisticação dos sistemas a estudar, por outro, o método de Hardy Cross tem-se divulgado de lenta convergência e até com enormes riscos de divergência, apesar das melhorias significativas que diversos investigadores têm introduzido no sentido de ultrapassar os referidos problemas. Exemplo de alguns investigadores que desenvolveram o método de Hardy Cross foi Hoag & Weinberg (1957) que

conceptualizaram uma programa para cálculo de redes de distribuição usando o procedimento básico iterativo desenvolvido originalmente por Hardy-Cross.

Atualmente, os engenheiros têm ao seu dispor outro tipo de ferramentas que lhes permitem analisar, com detalhe e sem dificuldade, complicados sistemas de abastecimento e distribuição.

O primeiro MSH foi desenvolvido para uma rede de distribuição de água, com recurso a um computador analógico, onde elementos elétricos são utilizados para simular o escoamento nas condutas. O modelo de redes de abastecimento McIlroy foi utilizado desde o início de 1950 até aproximadamente 1970 (Walski et al., 2003).

Em Portugal, a modelação de sistemas de abastecimento de água através de métodos computacionais iniciou-se na década de 80, com o modelo da rede de Almada, elaborado em 1981 pelo LNEC (Vidigal, P. M., 2008).

Tradicionalmente, um sistema de abastecimento de água inclui três fases: a quantidade, a qualidade e a excelência. A fase da quantidade, pretende a disponibilização de água em quantidade suficiente. Na fase da qualidade, o objetivo é garantir a boa qualidade da água distribuída adicionalmente à quantidade suficiente. A fase da excelência, procura acumular às anteriores fases a vertente da qualidade transversal do serviço prestado, numa visão de auto sustentabilidade, em que o desenvolvimento é sustentável em termos sociais, económicos e ambientais.

Os sistemas de abastecimento de água subdividem-se em sistemas em alta e sistemas em baixa. Os sistemas em alta são constituídos por um conjunto de elementos a montante da rede de distribuição de água. Assim, estes sistemas caracterizam-se pela união do meio hídrico, aos sistemas em baixa. Os sistemas em baixa são constituídos por um conjunto de elementos que ligam o sistema em alta ao utilizador final. O sistema de abastecimento de água presta um serviço em alta e em baixa, sempre que vincula o meio hídrico a um utilizador final. A **Figura 3.1** apresenta um exemplo de sistemas de abastecimento de água em alta e em baixa.

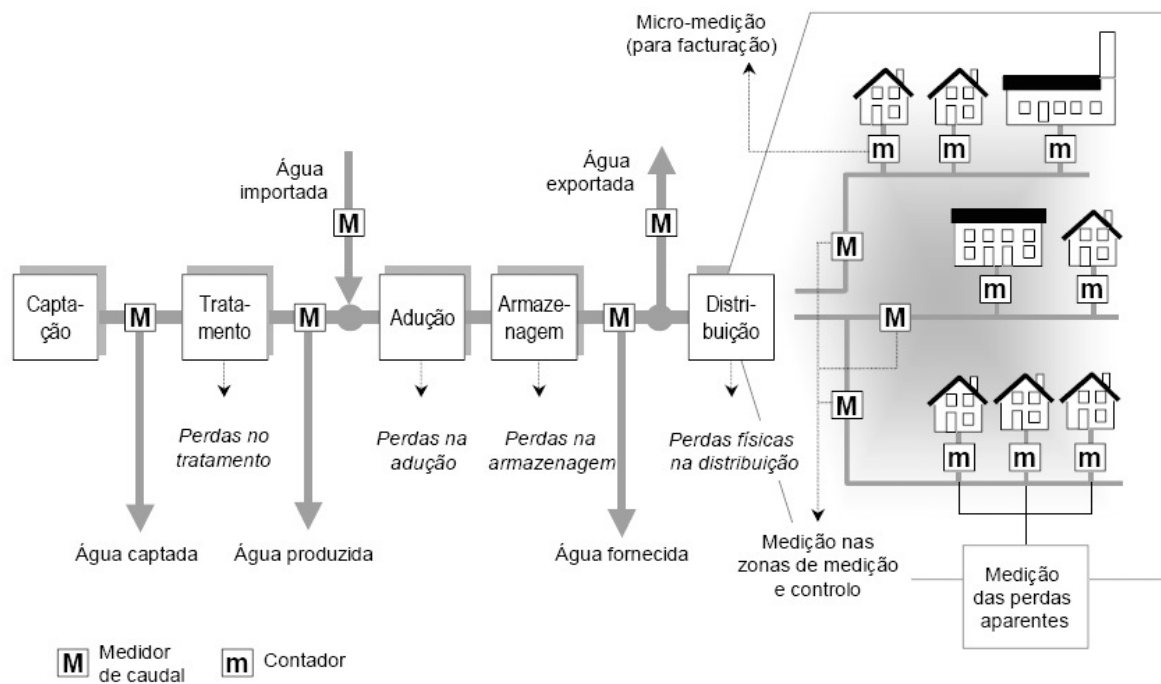


Figura 3.1 – Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com identificação dos componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição de caudal (Coelho et al, 2006)

As perdas físicas num sistema de abastecimento têm origem na captação, na adução de água bruta, no tratamento, no armazenamento, na adução de água tratada e na distribuição.

A diminuição das perdas físicas, permite reduzir os custos de produção através da redução do consumo de energia, de produtos químicos e outros, bem como, utilizar as instalações existentes para aumentar a oferta, sem expansão do sistema de abastecimento. A minimização das perdas físicas de água, num sistema de abastecimento é a atividade mais importante quando se pretende melhorar a eficiência dos sistemas (Almeida et al, 2006).

3.2. SIMULAÇÃO HIDRÁULICA APLICADA A SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

De acordo com Pedgen et al.,1995 *“A simulação hidráulica compreende a construção de um modelo de um sistema real e a partir deste modelo, a análise do comportamento do sistema e avaliação das várias possibilidades e estratégias para o projeto e operação do mesmo”*

Para fazer face a este problema, as entidades gestoras e os projetistas dos sistemas de abastecimento de água têm ao seu dispor mecanismos que permitem quantificar e qualificar os sistemas de abastecimento de água, para potenciarem o aumento da eficiência dos sistemas.

Os MSH constituem atualmente um instrumento com um vasto domínio de aplicabilidade, que podem ser usados no domínio do planeamento, projeto, operação, manutenção e reabilitação de sistemas de abastecimento de água, Fernandes, S.L.F., et al, 2011.

A simulação hidráulica pode ser aplicada de duas formas: estática, ou em período alongado. A simulação estática processa-se quando a simulação é efetuada num determinado momento temporal. A simulação em período alongado ocorre quando se efetua uma simulação sequencial, que traduz os acontecimentos em vários períodos (Rossman, L., 2002).

Deste modo, através da simulação os engenheiros têm ao seu dispor um instrumento de trabalho muito útil na tomada de decisão. O diagrama apresentado na **Figura 3.2** refere as diversas funcionalidades de um sistema de simulação hidráulica de abastecimento de água.

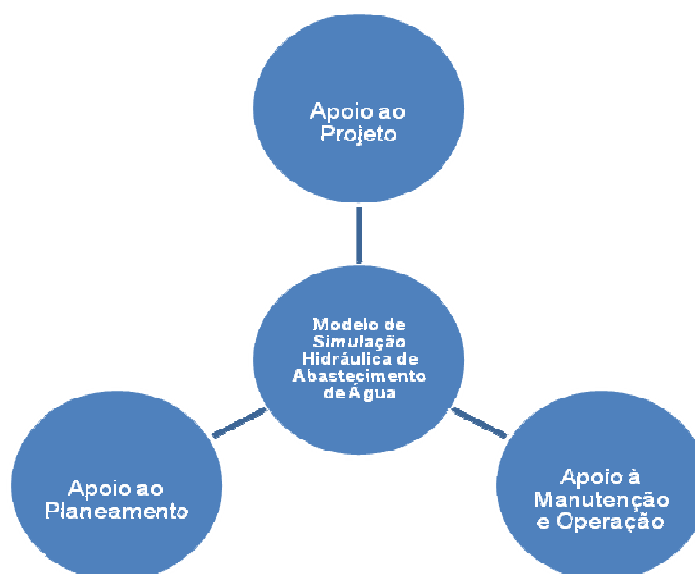


Figura 3.2 – Funcionalidade de um modelo de simulação hidráulica de abastecimento de água (adaptado de Silva, R. A., 2009)

No dimensionamento de um sistema de abastecimento, quando efetuado por simulação hidráulica, é particularmente importante a definição dos seguintes parâmetros ou parte deles consoante o programa aplicado (Loureiro, et al, 2002):

- Escolha de diâmetro e material das condutas;
- Capacidade dos reservatórios;

- Altura de elevação das estações elevatórias;
- Definição dos patamares de pressão na rede de distribuição e introdução das válvulas reductoras de pressão (VPR) onde seja necessário;
- Comportamento dos desinfetantes aplicados ao longo da rede, a definição da periodicidade de aplicação bem como dos locais onde é necessário efetuar a sua introdução.

Relativamente ao planeamento de um sistema de abastecimento, a simulação hidráulica dá os seguintes contributos:

- Programação de intervenção de reabilitações, com a minimização de impactos para o consumidor;
- O comportamento espectável de um sistema a longo prazo;
- A simulação dos problemas e cenários de operação quotidianas;
- A identificação de situações problemáticas;
- A análise do impacto da introdução de novas estações elevatórias, reservatórios e alargamento da rede de distribuição.
- O controlo de perdas de água, como por exemplo, através de programação de redução da pressão de serviço;

No que diz respeito à manutenção e operação dos sistemas de abastecimento de água, a simulação hidráulica dos mesmos é de notável importância, comparativamente ao dimensionamento tradicional, para:

- Apoiar a programação das ações de manutenção;
- Controlo operacional da rede de distribuição, possibilitando a simulação de diferentes cenários;
- Apoiar a execução de respostas no sistema em caso de emergência;
- Análise do impacto da avaria num determinado órgão;
- Minimização dos recursos energéticos;

- Otimização entre o armazenamento de água e a sua elevação;
- A gestão da pressão na rede de distribuição;
- Análise da concentração de cloro, manutenção de um residual adequado de cloro na rede de distribuição e o planeamento das injeções de cloro que são necessárias efetuar.

Os MSH são assim, de grande utilidade no apoio às atividades de planeamento e gestão, projeto, operação e manutenção dos sistemas, permitindo um conhecimento mais aprofundado do funcionamento dos mesmos para diversos cenários possíveis, correntes ou excepcionais (Coelho, S.T., et al, 2006)

3.3. PRINCIPAIS MODELOS DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os MSH são classificados em três tipos distintos de acordo com, Borges, V.M.N.A, 2003:

I. Tipo 1 – modelos que apresentam todos os recursos básicos para simulações em regime permanente. Exemplos: Hidrocad e Epanet.

II. Tipo 2 – modelos que apresentam recursos adequados à simulação de rede hidráulica em tempo estendido, possuem interface gráfica, controlo lógico e boas condições de calibração do modelo. Exemplos: Watercad.

III. Tipo 3 – os modelos que propõem para além das condições anteriores, a integração com o sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) de supervisão e controlo operacional da rede hidráulica. Estes modelos são os mais completos dos modelos descritos, exigindo assim maior experiência por parte dos utilizadores. Os referidos modelos destacam-se por apresentarem várias opções de simulação com variações de cenários e de operações controlo, como por exemplo, sobre o acionamento dos elementos como válvulas e bombas. Exemplos: Strumap e Synergiee. Nos sub capítulos seguintes descrevem-se os modelos anteriormente referidos.

Fora do âmbito da classificação de MSH, previamente citados, existem outro tipo de modelos para fins muito específicos, tais como planeamento e gestão de sistemas de abastecimento. Neste sentido, para uma aplicação específica de planeamento e gestão de sistema de abastecimento o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) desenvolveu o modelo “Iniciativa Nacional para a Simulação de Sistemas de Abastecimento de Água” (INSAA), cuja

aplicabilidade se adequa quase exclusivamente às entidades gestoras dos sistemas de abastecimento e tem características próprias. No entanto, considerou-se importante inserir mais este modelo pela sua forte componente em gestão e planeamento.

3.3.1. MODELO HIDROCAD

O HidroCAD permite a realização o cálculo e dimensionamento de redes de distribuição de água para abastecimento público. Apresenta-se como um programa flexível, capaz de se adaptar a diversos tipos de situações conforme as suas necessidades de cálculo, desde pequenas urbanizações a grandes sistemas de abastecimentos (Silva, L.A.P.S., et. al., 2001). O conceito deste modelo está preparado para o cálculo de redes ramificadas, malhadas ou mistas. O programa tem como fundamento o Decreto Regulamentar nº23/95, de 23 de Agosto, que aprovou o “Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais”, o qual revoga as Portarias nº10367, de 14 de Abril de 1943 e 8 de Maio de 1946 (Regulamentos Gerais das Canalizações de Água e Esgotos).

O HidroCAD importa o modelo geométrico diretamente do AutoCAD, sendo os restantes dados definidos no próprio programa. As regras de dimensionamento também estão incorporadas. O programa possui um conjunto de utilitários que ajudam a “filtrar” o modelo importado, ajustando ou corrigindo erros de uma forma automática (Silva, L.A.P.S., et. al., 2001).

Os elementos físicos considerados no programa para o cálculo hidráulico, restringem-se aos “nós”, “troços” e reservatórios. Os nós podem ser de três tipos: redundantes, principais e internos. Só os nós principais é que participam ativamente no modelo de cálculo que por sua vez fazem parte da matriz de cálculo. Os nós redundantes são tratados de uma forma automática, reduzindo a complexidade do modelo e aumentando a fiabilidade. Os nós internos não entram na matriz de cálculo, mas o programa determina o respetivo caudal e velocidade, que estão associados a estes nós (Silva, L.A.P.S., et. al., 2001).

Estão codificados como nós todos os pontos de encontro de dois ou mais tubos, onde haja alterações de características quer físicas (diâmetro ou material) ou de consumo. No que diz respeito aos troços, estes são os segmentos de conduta que unem dois nós, caracterizados pelo seu comprimento, diâmetro, consumo e material. A designação de consumo de um troço indica o respetivo consumo ao longo do seu percurso. Designa-se por “malha” um conjunto de troços interligados de forma a constituírem um anel fechado. O programa identifica automaticamente as malhas, não sendo necessário a definição explícita, das mesmas. Assim, as redes consoante o seu traçado poderão ser ramificadas como, malhadas ou mistas. O programa permite definir qualquer dos tipos de rede, devendo no entanto considerar-se o

“modelo de cálculo”, como ligeiramente diferente do “modelo real”, o que não implica desvios no rigor do cálculo (Silva, L.A.P.S., et. al., 2001).

Para o cálculo de uma rede devem ser definidos (Silva, L.A.P.S., et. al., 2001):

- Traçado da rede;
- Material a usar e diâmetros disponíveis;
- Consumo de água;
- Grau de risco de incêndio;
- Fator de ponta;
- Velocidade máxima;
- Pressão necessária;
- Indicação do ponto de adução.

Relativamente ao traçado da rede, este deve ser o mais linear possível, evitando a definição de nós muito próximos, uma vez que poderão causar problemas em termos de cálculo. A rede poderá ser traçada em Autocad e exportada para o Hidrocad em extensão dxf ou através de uma interface dinâmica, onde o Hidrocad lê diretamente o desenho de Autocad.

No que se refere ao material, há uma base de dados no programa que tem diversos tipos de material para os respetivos diâmetros, sendo editável a inserção de novos tipos de material ou alteração das características dos materiais já existentes (Silva, L.A.P.S., et. al., 2001).

É necessário definir o consumo de água ou capitação, este parâmetro é afetado por diversos fatores, entre os quais destacamos o clima, o nível sócio - económico, a densidade demográfica, a cultura, os hábitos e costumes, etc. O seu valor deve assentar na previsível evolução populacional, fluxos turísticos ou sazonais, tendo sempre em conta os planos de desenvolvimento urbanístico. A capitação é composta por diversas componentes de consumo: doméstico, comercial, industrial, público e perdas (MARN, 1991).

Terá ainda que se definir no combate a incêndio, o grau de risco da zona em que a rede se insere, de acordo com o Artigo 18º do D. R. 23/95, obtendo assim o caudal de emergência, assim como, o diâmetro mínimo a ser considerado (Artigo 23º do D.R. 23/95).

O cálculo da rede é baseado no equilíbrio dos nós e utiliza o método iterativo Newton/Rapson para a resolução do sistema de equações (Arenga, M., 2007). Este método apresenta vantagens de convergência e rigor em relação aos demais modelos usados e, apesar de ser iterativo, não é necessário que seja arbitrada uma solução inicial, porque o programa a gera automaticamente. Em termos de simulação, poderá ser realizada a desativação de troços, de forma a saber como é que a rede funciona sem os mesmos. O programa poderá aumentar o diâmetro dos troços, através da verificação da velocidade limite regulamentar. O cálculo está preparado para simular situações existentes, assim como, verificar quais os locais onde é possível a colocação de bocas ou marcos de incêndio. A visualização do modelo será realizada em planta, assim como em 3D, apresentando o terreno e a linha piezométrica. Com uma excelente capacidade de simulação, as rotinas internas simplificam o modelo de cálculo, de forma a minorar eventuais problemas matemáticos (Silva, L.A.P.S., et. al., 2001).

O algoritmo de cálculo do programa retira do sistema de equações, o cálculo de nós redundantes (normalmente nas extremidades ramificadas), melhorando a velocidade de cálculo e diminuindo a possibilidade de erro matemático (divisão por zero, como acontece no caso de dois nós muito próximos, cuja perda de carga entre eles seja nula, ou seja, estejam à mesma pressão).

Existem mensagens de alerta que procuram informar acerca de potenciais problemas, mensagens que poderão surgir em qualquer fase de utilização, pelo que o utilizador deve estar atento para agir em conformidade e nunca as ignorar simplesmente.

O dimensionamento hidráulico da rede é efetuado tendo em consideração os caudais de cálculo, a velocidade e a rugosidade do material, tendo sido utilizada para o efeito, as fórmulas monómias, pelo que os materiais são caracterizados pela seguinte fórmula (Lencastre, 1996):

$$Q = KD^a J^b$$

Em que:

Q - Caudal

D - Diâmetro

J - Perda de carga unitária

K, a e b – parâmetros determinados caso a caso consoante o tipo de tubagem

A **Figura 3.3** apresenta um exemplo de uma rede de abastecimento de água, simulada através do Hidrocad.

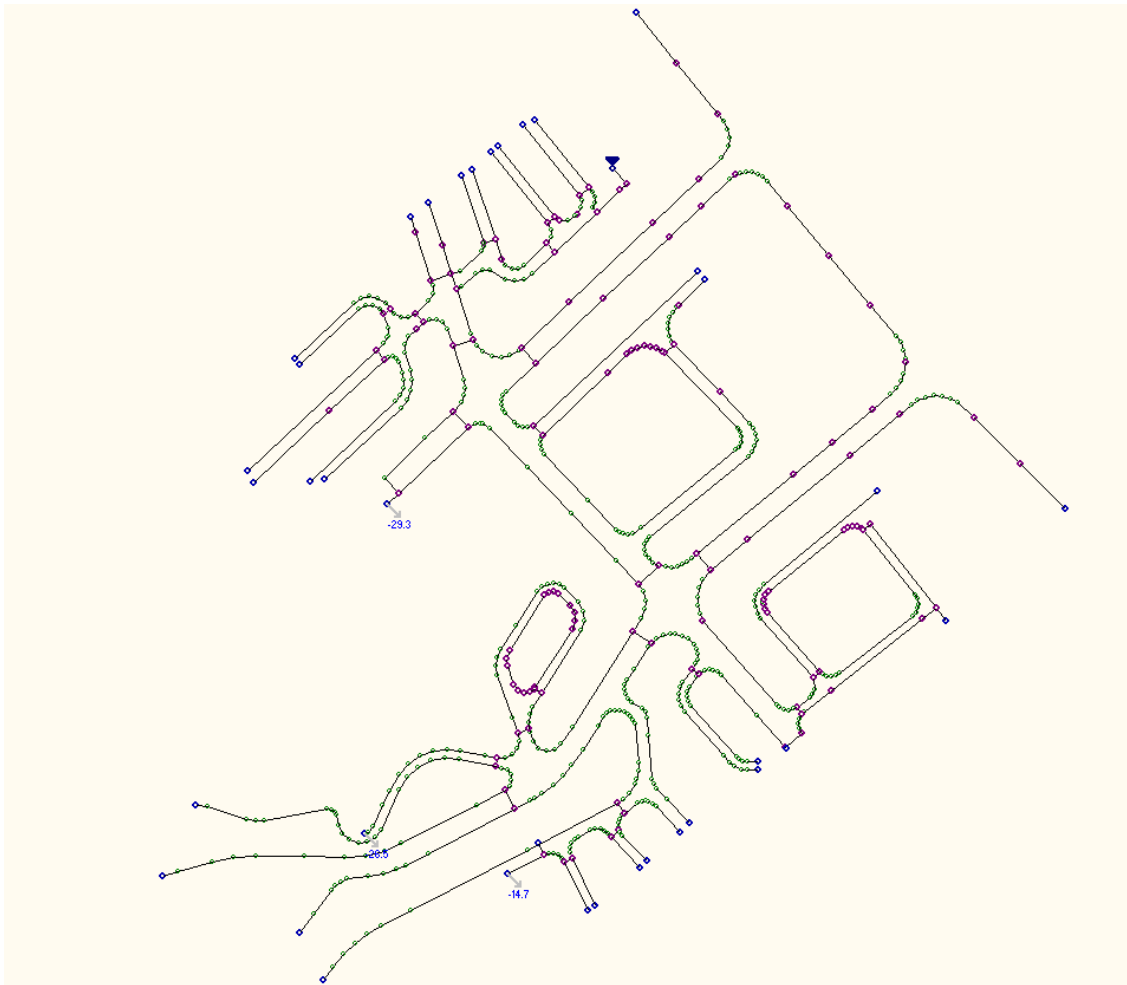


Figura 3.3 – Rede de distribuição dimensionada no Hidrocad (fonte: Proplano, 2011)

As desvantagens associadas à utilização deste modelo, são as seguintes:

- A restrição de elementos físicos constituintes de um sistema de abastecimento, contudo é possível inserir reservatórios e VRP (de forma indireta);
- É um programa comercializado, o que reduz o leque de abrangência dos utilizadores e consequentemente as experiências adquiridas. No entanto, não é muito dispendioso e em Portugal é muito usado em diversas empresas.

3.3.2.MODELO EPANET

O Epanet versão 2.0 é um modelo de simulação de abastecimento público de água, desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), dos Estados Unidos da América, que o disponibiliza gratuitamente, em conjunto com vários materiais de apoio. O Laboratório Nacional de Engenharia Civil, adaptou o EPANET para a língua portuguesa.

O Epanet (Rossman, 2002) é um modelo de simulação hidráulica de sistemas pressurizados de redes de distribuição de água que apresenta, durante um determinado intervalo de tempo, os valores da pressão nos nós, níveis de água nos reservatórios, custo de energia de bombagem e os parâmetros de qualidade da água em toda a rede de distribuição. Na medida em que este é um programa de domínio público, o mesmo tem sido muito aprofundado em trabalhos científicos, sendo um dos modelos mais utilizados para simulação hidráulica em muitos países (Pinto, 2009), nomeadamente em Portugal.

Este é atualmente, um dos mais fiáveis programas para este tipo de estudos, permitindo um planeamento adequado das redes, bem como a gestão do seu funcionamento, uma vez que é capaz de apresentar resultados para variadas situações, incluindo simulações estáticas ou dinâmicas, avaliar a qualidade da água, etc.(Rossman, 2002).

O Epanet é um programa que modela a distribuição de água em sistemas de abastecimento, executando simulações dinâmicas de comportamento hidráulico e da qualidade da água dentro de redes de tubagem pressurizada (Galvão, C. O., et. al., 2008).

As redes de tubagem, consistem em tubos, nós (junções de tubo), bombas, válvulas e tanques de armazenamento ou reservatórios. O Epanet localiza o fluxo de água em cada tubo, a pressão a cada nó, a altura da água em cada tanque e a concentração de substâncias químicas, ao longo da rede durante um período de simulação. Ao nível da qualidade da água, podem ser simuladas substâncias químicas, idade de água, fonte de contaminantes, etc (Coelho, S. T.,et. al., 2006).

O Epanet prevê um ambiente computacional integrado para editar dados de contribuição de rede, dimensionamento hidráulico e simulações de qualidade de água, e inclui um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação, das quais se destacam as seguintes (Rossman, L., 2002):

- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc.;

- Dimensão (número de componentes) ilimitada da rede a analisar;
- Modelação dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de caudal;
- Modelação de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombagem e do respetivo custo;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação;
- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água/ tempo;
- Modelação do tempo de percurso da água através da rede;
- Modelação de reações de decaimento do cloro no escoamento em tubagens e reservatórios;
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controlo simples, dependentes de uma só condição, ou em controlo com condições múltiplas.

O programa Epanet fornece um ambiente integrado em Windows para editar dados de entrada da rede, efetuar simulações hidráulicas e de qualidade da água e visualizar os resultados em vários formatos. Os resultados poderão ser fornecidos da seguinte forma (Covas, C., et . al., 2008):

- Visualizar mapas da rede com codificação a cores;
- Tabelas de dados;
- Gráficos de séries temporais e gráficos de isolinhas;
- Perfis de condutas.

Os elementos físicos da infraestrutura que devem ser considerados para a descrição de um modelo são as condutas, as válvulas, as bombas, os nós e os reservatórios (Rossman, L., 2002).

Para preparar uma primeira versão preliminar do respetivo modelo é indispensável dispor da totalidade da informação de base sobre os componentes físicos de um sistema. O

conhecimento dos dados de base e a preparação de um modelo válido, são processos de inserção que funcionam de modo iterativo, durante todo o processo de construção e calibração (Camacho, A., et. al., 2003). Passam assim, a descrever-se as principais infraestruturas que poderão ser introduzidas no EPANET, segundo Rossman, L., 2002.

Condutas – As condutas devem ser caracterizadas pelas seguintes propriedades: um código identificativo (ou ID), o nó inicial, o nó final, o comprimento, o diâmetro e um coeficiente de rugosidade. Haverá ainda outras propriedades facultativas que caracterizam as condutas, tais como coeficientes de perda de carga singular ou de interação com parâmetros de qualidade da água. O comprimento de uma conduta é um elemento essencial de cálculo, devendo ser inserido o valor correspondente, com a maior precisão possível. O valor de comprimento é especificado pelo utilizador e não é aquele que resulta da representação no desenho da rede.

Válvulas - As válvulas são troços especiais de comprimento nulo, que provocam uma perda de carga de acordo com determinadas características e limitam assim, a pressão ou o caudal a jusante. Uma válvula pode usar-se no modelo para representar um elemento que esteja fisicamente no sistema, ou como artifício para simular condições de funcionamento específicas. Entre os tipos de válvulas modeladas pelo Epanet, salientam-se as válvulas de borboleta, as válvulas redutoras de pressão, as válvulas de alívio e as válvulas reguladoras de caudal. Os dados essenciais das válvulas são: ID, o nó inicial, o nó final, o diâmetro, o tipo e o parâmetro de controlo.

Bombas - Uma bomba é modelada como um troço especial da rede que transfere energia para o escoamento, aumentando a sua carga hidráulica. Os principais dados a inserir no programa, são: o nó inicial e final, e a curva característica. Se não for conhecida a curva da bomba, esta pode ser representada pela potência, fornecendo um valor constante de energia ao escoamento. No Epanet, o escoamento através de uma bomba é unidirecional, pelo que não é necessário a introdução de uma válvula de retenção. No caso de uma bomba de velocidade variável, a propriedade “regulação de velocidade” é utilizada para a respetiva parametrização.

Nós - As propriedades essenciais para a caracterização de um nó são o código identificativo e a cota do terreno. Os nós que representem pontos de consumo devem ainda ser caracterizados por informação relativa ao respetivo consumo base e ao(s) padrão(ões) temporal(ais) associado(s). O consumo base representa o valor médio ou nominal do consumo de água da categoria principal de consumo no nó. O padrão temporal multiplica o consumo base e representa um comportamento ao longo do tempo. Durante a modelação, o consumo no nó em cada instante do dia resulta do produto do consumo base pelo valor do fator multiplicativo do padrão temporal nesse instante. Poderá haver mais do que um par consumo-base / padrão de consumo num nó, resultado da acumulação de duas ou mais categorias de

consumo. Um valor negativo no consumo-base serve para indicar a existência de uma origem externa de caudal.

Reservatórios – A modelação de reservatórios efetua-se de duas formas distintas: reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variável (RNV). Os RNF são nós especiais em que a cota da superfície livre é fixada pelo utilizador e não é alterada pelo processo de cálculo. Um RNF estabelece, uma condição de fronteira que representa uma origem ou destino de água, cuja capacidade se possa considerar ilimitada. Utiliza-se normalmente este elemento físico para representar um reservatório de grande capacidade, uma captação ou um ponto de entrega. Os dados necessários para a modelação de RNF são: a identificação do reservatório (ID), a cota da superfície livre e a identificação de um padrão de variação da superfície livre (ID do padrão). Os RNF são nós especiais com uma capacidade de armazenamento limitada, e em que o volume de água armazenado pode ser alterado ao longo do tempo, numa situação de período alargado. Os RNV são utilizados para modelar qualquer reservatório ou tanque cujo volume armazenado e cota da superfície livre variem, como consequência do balanço entre o caudal de entrada e o caudal de saída, em cada passo de cálculo. Os dados necessários para a modelação de um RNV são: a identificação do reservatório (célula), a cota da soleira, a altura de água mínima, a altura de água máxima, o diâmetro para reservatórios com secção circular, o diâmetro equivalente e a identificação da curva de volume.

A **Figura 3.4** apresenta o exemplo da simulação de um sistema de abastecimento, em cujo resultado, se pode apresentar a variabilidade de cotas e a gama de diâmetros aplicados.

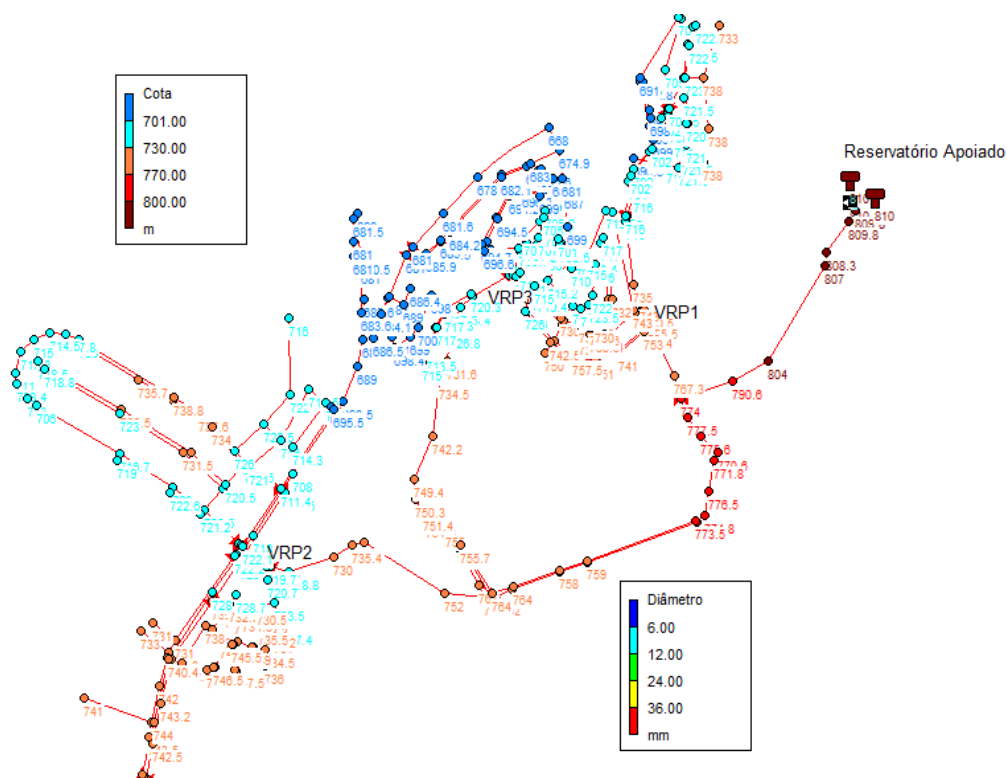


Figura 3.4 – Modelo de simulação hidráulica através do Epanet (fonte: Covas, C, et. al., 2008)

A utilização do modelo de Epanet, para uma simulação de um sistema de abastecimento, apresenta as seguintes vantagens (Rossman, L., 2002):

- Importação de redes desenhadas em AutoCAD;
- Integração com programas SIG.
- Simulação de estudos de expansão da rede de distribuição;
- Calibração de modelos hidráulicos;
- Avaliação de consumos;
- Análise do decaimento do cloro residual e outras análises da qualidade da água, como o crescimento dos trihalometanos, por exemplo;
- Avaliação da idade da água em determinados pontos da rede;
- Modelação do funcionamento de válvulas e bombas;

- Análise das condições de combate a incêndio;

Por outro lado, no que respeita às limitações do programa poderá apontar-se que o Epanet, apresenta ainda atualmente algumas desvantagens relativamente a outros programas disponíveis no mercado, tais como os programas que permitem formular os MSH do Tipo 3 anteriormente descritos, o que obriga a utilização de programas suplementares. Seria um excelente instrumento se conseguisse (Silva, J.H.F., 2008):

- Importar e trabalhar redes desenhadas em Autocad (*.dxf ou *.dwg);
- Analisar a qualidade da água de mais do que uma espécie química em simultâneo;
- Inserir uma distribuição dos consumos ao longo da rede de forma automática;
- Ultrapassar alguns pormenores sem necessidade de utilização de alguns artifícios, como por exemplo, a simulação de entrada de água num reservatório a cota fixa, admissão de caudal nulo para situações hidrostáticas ou aceitar um reservatório completamente vazio.

3.3.3. MODELO WATERCAD

O programa Watercad pretende disponibilizar soluções e serviços altamente diferenciadores e avançados, na área da modelação e engenharia hidráulica, que visam otimizar, gerir e controlar uma distribuição eficiente da água e todos os respetivos custos associados (Bentley, 2011).

O Watercad é uma solução integrada que inclui a opção de modelação hidráulica e da qualidade da água, para sistemas de distribuição. Este modelo permite analisar de forma muito pormenorizada, no tempo e no espaço, os problemas mais comuns aliados à gestão e à manutenção de sistemas de distribuição de água. Esta solução é amplamente divulgada em todo o mundo, como uma ferramenta fiável de suporte à decisão e poupança de recursos para infraestruturas de distribuição (MVM, 2003). Poderão apontar-se como exemplos, a análise do caudal para reserva de incêndio, os processos de transporte de contaminantes na rede, o consumo de energia e a gestão de custos financeiros. Por outro lado, o Watercad auxilia as empresas de serviços a analisar, dimensionar e otimizar os sistemas de distribuição de água.

As principais funcionalidades do modelo, descritas pela Bentley (empresa que comercializa o Watercad), incluem.

Construção de modelos otimizados - Uma das tarefas mais difíceis e com grande probabilidade de inserção de erros na modelação é a introdução de dados. No entanto, com os

módulos geoespaciais LoadBuilder™ e TRex™ (incluídos no Watercad sem custos adicionais), é possível maximizar a informação recolhida, de forma automatizada, minimizando os respetivos erros inerentes.

Introdução de dados – É possível introduzir com facilidade acrescida dados topográficos e os respetivos atributos, tendo como ponto inicial a informação presente em tabelas, bases de dados e desenhos de Autocad (dxf), de forma a criar diretamente modelos hidráulicos. Poderá estabelecer-se ligações a dados de condições de fronteira, como padrões de consumo, curvas de bombas ou características de válvulas. Relativamente aos consumos de água, estes são inerentes às cotas dos nós com base nos dados georreferenciados encontrados nos arquivos de dados.

Modelação da qualidade da água – é possível com este modelo, realizar análises de transporte e dispersão de contaminantes, estimar a idade da água, mistura em depósitos e análise de fontes de emissão para desenvolverem programas de desinfeção abrangentes, com o objetivo de simularem eventos de contaminação de emergência, visualizar zonas de influência para diferentes fontes de água ou identificar problemas de mistura de águas no sistema.

Análise de caudal de incêndio – existe uma funcionalidade do programa, o Navegador de caudal de incêndio, que permite que os utilizadores possam com cuidado e rapidamente determinar a capacidade que a rede tem de fornecer proteção contra incêndios. É possível modelar em simultâneo vários eventos de caudal de incêndio, avaliando os caudais e as pressões em todo o sistema.

Análise de segmentos críticos e modelação de operações – Através da ferramenta de análise de crítica (Criticality Analysis Center) é viável identificar elementos essenciais na infraestrutura de distribuição de água e avaliar o risco associado à sua falha. Por outro lado, permite utilizar controlos operacionais com base em regras, ou seja, a bombagem de velocidade variável (VSP) e o consumo dependente da pressão (PDD). Nesta circunstância, os utilizadores podem definir condições operacionais, minimizar o consumo de energia ou modelar as operações em tempo real para melhorar o desempenho do sistema.

Gestão de cenários ilimitada - O Centro de Gestão de Cenários (Scenario Management Center) permite que os utilizadores detenham o controlo total para configurar, executar, avaliar, visualizar e comparar um número ilimitado de simulações no mesmo projeto de modelação. Assim, esta é uma ferramenta muito útil de apoio à decisão, que permite com maior facilidade comparar cenários, analisando alternativas de reabilitação para vários horizontes de projeto. Poderão ainda ser avaliadas diversas situações, tais como, estratégias de operação de

estações de bombagem ou alternativas de purga da rede para situações de contaminação ou manutenção.

Purga / limpeza da rede - O Watercad permite simular o efeito de limpeza da rede através da abertura de hidrantes / bocas-de-incêndio na rede de distribuição, o que garante a renovação da água nos segmentos desejados. Este processo de manutenção (ou emergência), pode desencadear alguns problemas, uma vez que é necessário garantir que as velocidades nas condutas são suficientes, para a renovação da água e para o arrastamento do material depositado. Caso contrário, o serviço poderá ser fortemente afetado pela presença de águas turvas. O Watercad incorpora uma ferramenta que simula todos os cenários possíveis de abertura das bocas-de-incêndio e fecho/ abertura de válvulas de seccionamento, incluindo uma funcionalidade que permite avaliar com rapidez, entre todos os cenários, os locais que poderão apresentar potenciais problemas, associados, por norma, a velocidades baixas ou nulas. Desta forma, o utilizador poderá analisar, qual a melhor estratégia para garantir a correta substituição da água num determinado segmento, bem como corrigir eventuais situações críticas.

O modelo Watercad apresenta-se esquematicamente na **Figura 3.5**.

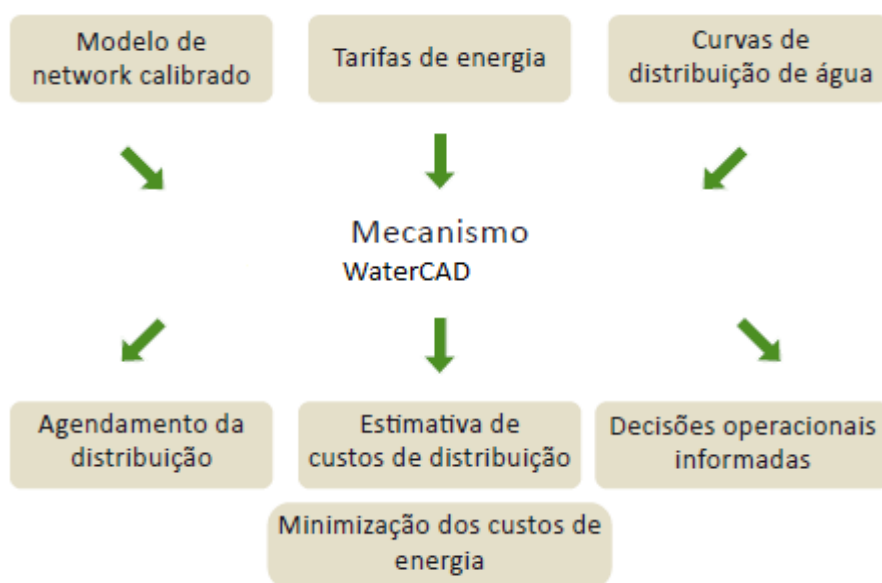


Figura 3.5 – Modelo Watercad (fonte Bentley, 2011)

Este programa tem a versatilidade de possuir interfaces com outros programas, tais como Autocad, SIG e bases de dados (WaterCad, 2003).

Toda a descrição deste modelo apresenta uma série de vantagens, com que o mesmo se depara no mercado, relativamente às outras ofertas disponíveis.

No que se refere, às desvantagens que o modelo de Watercad apresenta, estas incluem essencialmente o custo do programa e o uso do mesmo numa comunidade restrita.

3.3.4.MODELO STRUMAP

O programa Strumap tem origem em 1992, em Inglaterra. É um programa que integra um SIG e capacidades de modelação hidráulica. A interface do utilizador é simplista, mas a flexibilidade é incomparável (possui inúmeras ferramentas de análise espacial) (Beswick, M., et al).

A arquitetura técnica do projeto, possui as seguintes ferramentas (Hutchison, E., et. al, 2006):

- Base de dados Oracle 9i;
- Interface de usuário do Visual Basic;
- Motor Strumap espacial;
- Relatórios configuráveis pelo utilizador.

O Strumap é constituído pelos módulos que se apresentam a seguir (Hutchison, E., et. al, 2006):

1. Pesquisa de operações;
2. Estrutura da navegação e distribuição;
3. Análise e relatório de perdas;
4. Validação de dados (séries temporais);
5. Configuração do relatório de desempenho.

No módulo de pesquisar operações é facultado ao operador, a visualização do serviço ao cliente onde se indica o desempenho da informação. Num primeiro enquadramento proporciona-se ao utilizador a integração na plataforma, na qual é possível formular questões de “causa efeito”. Neste módulo o utilizador pode ainda usufruir dos “ouputs” de relatórios gráficos, com formato de tabela ou de dados espaciais. Nestes relatórios podem detetar-se falhas na qualidade da água, observação de sensores, oscilações de pressão na rede e caudais.

No módulo de estrutura da navegação de distribuição, é concedido ao utilizador um detalhe da navegação através dos agentes disponíveis. Neste módulo podem visualizar-se as regras de medição e os seus limites, com acesso a séries temporais de fluxo e pressão. Os documentos que compõem este módulo podem ser fotografias ou notas que suportam as operações espaciais, de tabelas e gráficos selecionados.

No que respeita ao módulo de análise e relatório de perdas, este calcula as perdas do histórico da rede doméstica, ou não doméstica com licenças. Da faixa de relatórios que este módulo permite efetuar, incluem-se os relatórios de zona que mostram detalhes estimados de informação base. Outro tipo de relatórios referem-se a perdas de rutura por zona em determinados intervalos e unidades. Poderão ainda efetuar-se gráficos com o caudal mínimo noturno. Para sintetizar a informação é realizado um relatório de sumário em formato de tabela.

O Strumap para desempenhar todas as funções espaciais que o constituem, incorpora um mecanismo que lhe permite efetuar os relatórios com requisitos espaciais (MVM, 2011).

Relativamente ao relatório do território, poderá aceder-se de forma instantânea à análise de numerosos dados, tais como, rastreio da rede, análise poligonal e mapas temáticos (Hutchison, E., et. al, 2006). A capacidade e flexibilidade dos dados relativos ao território não estão limitadas pelo SIG. Assim, é possível manipular grandes conjuntos de dados de várias fontes. Na **Figura 3.6** apresenta-se um mapa que inclui um relatório de desempenho de dados espaciais.

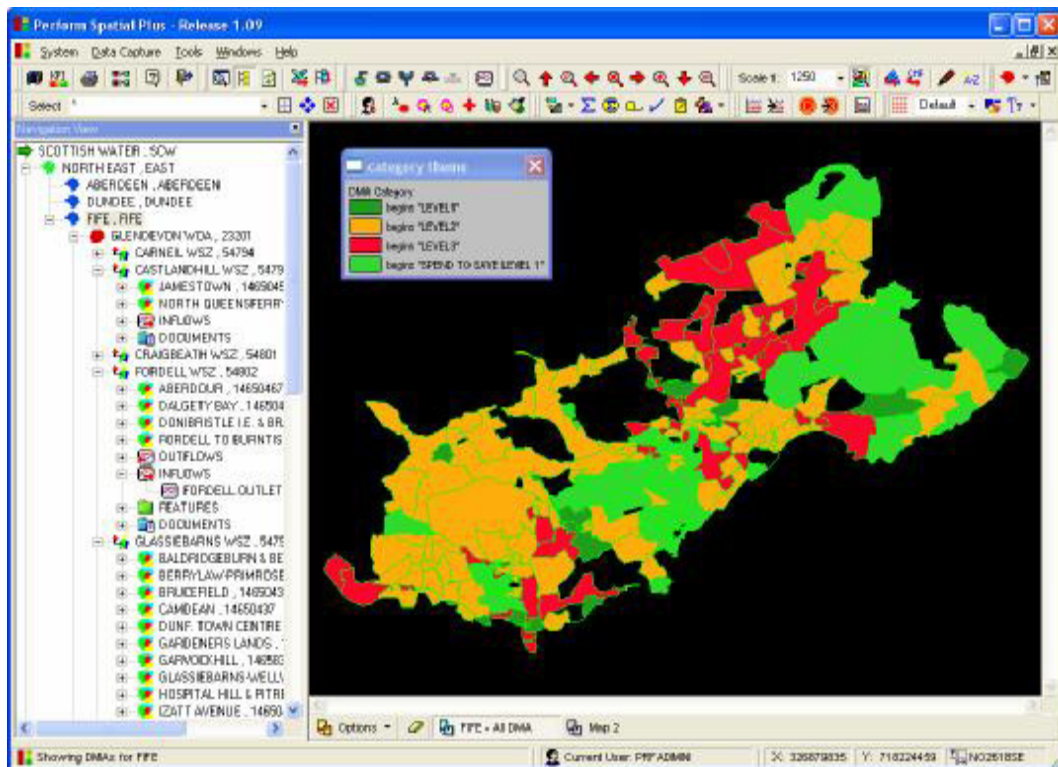


Figura 3.6 – Resultados dos dados espaciais (Hutchison, E., et. al, 2006) (Manual de Utilização do Strumap, 2006)

No que diz respeito às funcionalidades do programa Strumap, estas podem sintetizar-se nas seguintes (MVM, 2011):

- Possui mais de 1500 funções sofisticadas ao dispor dos utilizadores;
- Cria consultas personalizadas, para análise do utilizador, o que permite manipular os dados de reforço;
- Avalia a expressão do meio ambiente onde está inserido;
- Permite criar os seus próprios formulários de entrada de dados;
- Gere os diferentes tipos de dados em arquivo;
- Gere os vários tipos de arquivos;
- Permite traçar redes de abastecimento de água para verificar a conexão com os dados de arquivo;

- Fixa os dados herdados de outras fontes;
- Permite trabalhar com base de dados padrão de indústria;
- Mede e conta os objetos inseridos num determinado mapa;
- Permite procurar objetos específicos de acordo com os seus atributos;
- Permite criar apresentações de mapas temáticos;
- Permite criar e modificar símbolos no editor de novos símbolos;
- Permite criar um conjunto completo de manipulação de polígonos para ferramentas de análise;
- Desenha páginas com opções de impressão avançada;
- Cria limites personalizados de impressão de mapas.

Os benefícios apresentados pelo Strumap são os seguintes (MVM, 2011):

- Tem uma implantação rápida e fácil;
- Reduz o tempo gasto na manipulação de dados;
- Revela tendências padrão na análise dos diversos conjuntos de dados num determinado ambiente;
- Apoia e justifica as decisões de investimento num sistema de abastecimento de água;
- Reduz o tempo de execução do modelo, com a elaboração de relatórios regulamentares;
- Permite que os consultores profissionais intervenientes tenham acesso a apoio e formação.

No que se refere às desvantagens destaca-se a dificuldade de entrada dos parâmetros hidráulicos e a sua topologia (Moura, V. M., 2006). Sendo este um modelo desenvolvido no Reino Unido, a sua divulgação e partilha de experiências em território nacional está pouco divulgada. Aponta-se ainda como desvantagem o facto de ser um programa comercializado.

3.3.5.MODELO SYNERGEE WATER

O modelo de simulação Synergiee Water é comercializado pela empresa alemã GL – Group. Este programa conta já com quatro versões 3.0, 4.1, 4.2 e 4.3. O Synergiee Water é um programa de simulação utilizado para modelação e análise de sistemas de distribuição de água. Assim, é possível, criar modelos com redes de abastecimento e distribuição de água com diversos tipos de tubagens, válvulas reguladoras de pressão, estações elevatórias, reservatórios, tanques, poços e furos (GL-Group, 2011).

Através do Synergiee Water é possível obter uma modelação versátil e flexível, que proporciona análises abrangentes dos sistemas. O programa permite executar um conjunto de análises úteis, podendo simular sistemas de grande dimensão com mais de 100.000 elementos, incluindo-os a todos na rede e equipamentos operacionais. Destas análises destaca-se, a opção de verificar quais os comportamentos hidráulicos em zonas subdivididas em andares de pressão ou com qualidade de água semelhantes. Além disso, podem formular-se diversos cenários de acordo com o controlo complexo dos sistemas de bombagem e válvulas reguladoras de pressão inseridos no modelo (Kountz, S., 2007).

Existe um conjunto de módulos opcionais que podem ser adquiridos e estão disponíveis para colmatar requisitos mais elevados de modelação, tais como, isolar uma determinada área, a análise de fiabilidade, a gestão e calibração de subsistemas. Os principais módulos constituintes do programa (GL-Group, 2011), incluem:

- O Módulo de Gestão de Clientes do Synergiee Water permite que sejam criadas ligações entre o seu sistema de abastecimento e distribuição de água e informações dos clientes. Uma vez estabelecida, as informações dos clientes podem ser analisadas individualmente ou em grupos;
- O Módulo de Isolar Áreas possibilita ao utilizador a opção de isolar uma determinada área. Neste sentido, é possível visualizar quais as válvulas que são necessárias fechar, para isolar uma determinada área e consequentemente analisar quais as perdas de carga de serviço;
- Está ainda disponível o Módulo, em www.gl-group.com/water, que faculta a transferência automática de dados operacionais e de referência do sistema de distribuição, para utilizar na modelação do estado estático e dinâmico para simulações na rede;

- O Módulo Gestão de Subsistemas oferece vários métodos para simplificar o trabalho de simulação de um modelo de sistema de distribuição. É possível extrair e ligar os dados do subsistema, o que permite trabalhar numa versão simplificada do modelo. Assim, poderão efetuar-se análises detalhadas de todos os recursos do modelo, reduzir o nível de detalhe gráfico e hidráulico do modelo, removendo ou introduzindo nós equivalentes e tubagens que se considerem desnecessárias para a sequência de modelação;
- O módulo de Análise de Fiabilidade permite determinar como o sistema irá responder a uma interrupção da tubagem e medir o impacto resultante sobre o sistema de abastecimento ou distribuição de água. Neste módulo, podem executar-se análises usando um estado estático com a análise das horas de pico. Por outro lado, podem efetuar-se análises variáveis no tempo, em que pode ser medido o impacto do fracasso em todas as instalações do seu sistema ou de um subconjunto selecionado. Com estes resultados, pode determinar-se a capacidade de fornecimento de água necessária em cada nó;
- O módulo de conceção proporciona a capacidade de seleccionar a configuração da rede com um design de menor custo para a qualidade e restrições de serviço requeridos. Assim, este módulo permite que sejam minimizados custos de projeto e os mesmos sejam aplicados para expansão do sistema e sua reabilitação. É possível obter uma tabela de custo versus diâmetros da tubagem aplicada com a especificação da região de destino e das condições de projeto. A aplicação de recursos sofisticados de otimização permite que automaticamente sejam calculados um conjunto de opções de conceção da rede. Nesta circunstância, poderão comparar-se os custos e desempenho da rede resultante e posteriormente, seleccionar a configuração mais adequada.

A **Figura 3.7** apresenta um exemplo da aplicação do Synergee Water ao sistema de abastecimento da zona industrial da ilha Sawan (UK) (Hofeld, E., 2007).

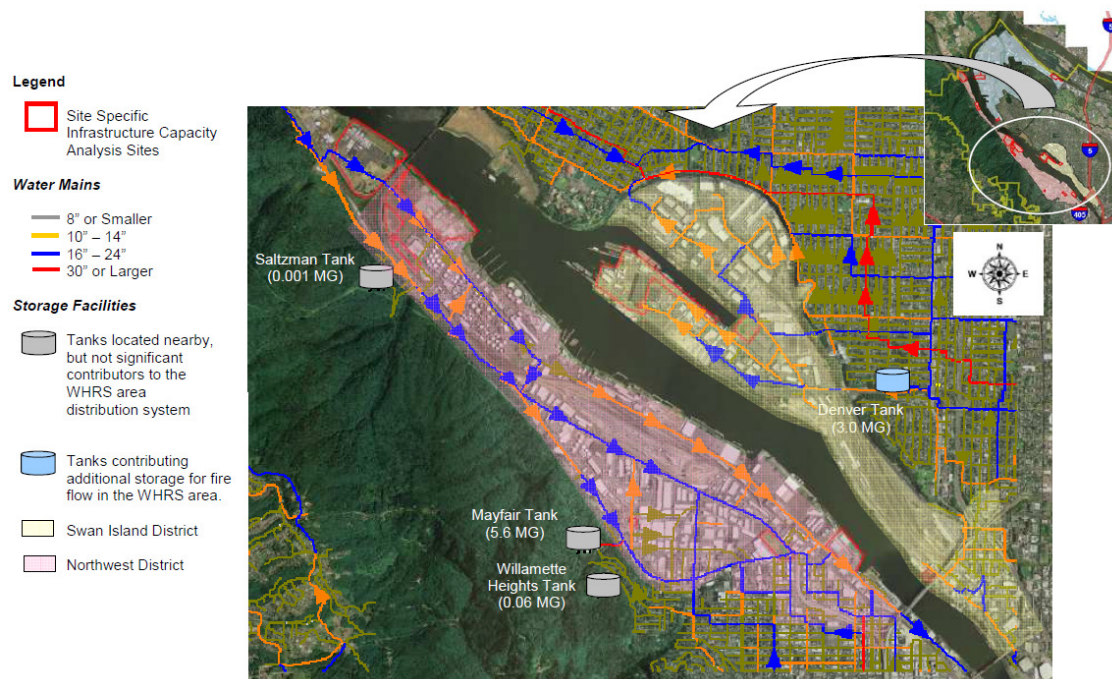


Figura 3.7 – Exemplo de aplicação do Synergiee Water ao sistema de abastecimento da zona industrial da ilha de Sawan, UK (fonte: Hofeld, E.,2007)

Seguidamente descrevem-se as vantagens da versão mais atualizada do programa.

O Synergiee 4.3 oferece progressos de base práticos na configuração de mapas, que permitem que os utilizadores importem sistemas de informação externa georreferenciados sob a forma de um SIG.

Esta versão permite ainda que o utilizador tenha ao seu dispor ferramentas que permitem analisar cenários e planeá-los a curto e longo prazo. Com o estado e serviço da instalação, os utilizadores podem ativar ou desativar partes da rede de distribuição e outras instalações (Miller, A., 2005).

O Synergiee 4.3 também introduz uma nova família de ferramentas espaciais para ajudar a identificar problemas com conexão à instalação do modelo, para proteger a integridade de simulação e resultados. As ferramentas permitem que os utilizadores rapidamente e de forma

automática detetem e corrijam tubagens interrompidas, instalem cruzamentos e nós num modelo.

No que diz respeito às restrições e desvantagens apresentadas por este modelo, refere-se o seguinte (Danina, 2004):

- Sendo este desenvolvido por uma empresa alemã, embora seja usado por muitas empresas em todo o mundo, em Portugal não existe um histórico de utilização do programa que permita às empresas possuir uma experiência vasta e diversificada nas situações tipificadas;
- O programa, embora seja sofisticado e versátil é dispendioso e a aquisição dos módulos é paga individualmente;
- A edição de perfis é exclusiva de algumas edições;
- A validação do modelo, comparativamente com os outros modelos, é pobre;
- O ficheiro com o relatório de análise é muito extenso e ocupa muita memória;
- Este modelo não é funcional comparativamente com outros similares.

3.3.6. MODELO INSSAA

O núcleo de engenharia sanitária do LNEC, desenvolveu entre 2003 e 2006 um programa nacional designado “Iniciativa Nacional para a Simulação de Sistemas de Abastecimento de Água” (INSSAA). Este programa foi concebido para dar apoio às entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água na gestão operacional.

Neste programa estiveram envolvidas nove entidades gestoras (EG) nacionais (Águas do Cávado, S.A., Águas da Figueira, S.A., Águas de Gondomar, S.A., Águas do Sado, S.A., Águas de Santo André, S.A., AGS, S.A., S.M.A.S. de Loures, S.M.A.S. de Oeiras e Amadora, S.M.A.S. do Porto e S.M.A.S. de Sintra). Estas entidades pela sua diversidade geográfica, fazem com que as características dos seus sistemas de abastecimento sejam diversificadas, o que permite uma amostra representativa dos principais aglomerados urbanos.

O modelo foi desenvolvido em sete fases distintas (Coelho, et al, 2007), que incluem:

- Fase A: Planeamento do modelo;
- Fase B: Construção do modelo com a descrição física do sistema;

- Fase C: Construção do modelo com a introdução dos consumos;
- Fase D: Construção do modelo com o controlo operacional;
- Fase E: Implantação da solução base;
- Fase F: Calibração do modelo;
- Fase G: Exploração do modelo e planeamento da exploração futura.

As EG envolvidas assumiram o desenvolvimento dos seus modelos, incluindo a introdução de toda a informação necessária. Cada entidade sugeriu os vários setores de abastecimento que queriam inserir, ao nível de transporte e distribuição de água. Os modelos de simulação foram concebidos com o apoio técnico do LNEC, que orientou e efetuou o enquadramento dos técnicos, através da programação de trabalhos específicos.

Destaca-se ainda que o desenvolvimento dos modelos a cargo de cada EG, será baseado, em princípio, na utilização do programa Epanet 2.0, traduzido para português e distribuído gratuitamente pelo LNEC. O LNEC aceitará a utilização de outros programas de modelação por entidades participantes, desde que o programa proposto ofereça capacidades pelo menos equivalentes às do Epanet 2.0. Note-se que o LNEC só poderá garantir um apoio técnico completo se puder dispor do mesmo programa utilizado pela EG para reproduzir à distância as condições de modelação pretendidas. Assim, a avaliação do programa proposto será efetuada caso a caso e a decisão final caberá sempre ao LNEC (LNEC, 2003).

Na **Tabela 3.1** apresentam-se os objetivos e os resultados de cada fase do modelo INSSAA segundo, Coelho, et al, 2007.

Tabela 3.1 - Programação INSSAA: objetivos e resultados de cada fase (Fonte Coelho, et al, 2007)

Objectivos da fase	Resultados da fase
Fase A – Planeamento do modelo	
<ul style="list-style-type: none"> Definição dos sistemas a estudar, do âmbito e dos objectivos de cada projecto de modelação; estabelecimento dos usos preferenciais e prioritários do modelo; levantamento preliminar de disponibilidade de dados de cadastro, de facturação e operacionais; identificação de necessidades prioritárias de dados complementares, incluindo quando necessário a apresentação de propostas de alteração de procedimentos de recolha de dados; definição das convenções a adoptar na modelação; definição das opções básicas de modelação; definição da equipa de projecto na EG, incluindo o Gestor de Modelo. 	<ul style="list-style-type: none"> Relatório conciso contendo a especificação do objecto do estudo, dos usos prioritários do modelo, do sistema de convenções adoptado, das opções básicas de modelação e da equipa envolvida.
Fase B – Construção do modelo – Descrição física do sistema	
<ul style="list-style-type: none"> Recolha de elementos necessários para a descrição física do sistema – cadastro das redes, de reservatórios, de instalações elevatórias, de válvulas utilizadas para operação e outros elementos físicos; geração dos dados prioritários eventualmente em falta; estruturação dos dados físicos para carregamento no modelo, com a criação de Fichas Técnicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Ficheiro computacional de modelo contendo a descrição física completa do sistema (condutas, nós, reservatórios, válvulas, estações elevatórias e outros dispositivos físicos). Relatório conciso descrevendo a forma como foram obtidos e processados os dados físicos inseridos no ficheiro computacional do modelo, e contendo as Fichas Técnicas do modelo.
Fase C – Construção do modelo – Consumos	
<ul style="list-style-type: none"> Recolha e formatação de dados de medição de caudal na rede; identificação dos dados prioritários em falta e sua geração através de campanhas de medição na rede; análise estatística de dados de caudal, produção de padrões de consumo e tipificação de cenários; recolha de elementos relativos à distribuição espacial de consumos na rede; estimativa e afectação de consumos nos nós da rede; processamento dos dados de consumo para carregamento no modelo. 	<ul style="list-style-type: none"> Introdução de consumos nos nós e de padrões temporais de consumo no(s) ficheiro(s) computacional do(s) modelo(s) previamente criado(s). Relatório conciso descrevendo os resultados da modelação de consumos, nomeadamente as características dos dados utilizados, a análise estatística e geração de padrões adimensionais, a tipificação de cenários de consumo e a estimativa e afectação de consumos aos nós da rede. O relatório deverá ainda documentar eventuais alterações relevantes a introduzir ao modo de obtenção deste tipo de informação na EG.
Fase D – Construção do modelo – Controlo operacional	
<ul style="list-style-type: none"> Levantamento das regras de operação do sistema, nomeadamente níveis de operação de reservatórios, consignas de caudal, regulações de válvulas e bombas, e modos de operação do sistema de telegestão (caso exista); refinamento da tipificação de cenários, baseado na nova informação recolhida; introdução dos elementos nas Fichas Técnicas do modelo; processamento dos dados para carregamento no modelo. 	<ul style="list-style-type: none"> Introdução, nos ficheiros computacionais de modelo, dos elementos descritivos das regras operacionais de controlo, níveis de operação de reservatórios, consignas de caudal e regulações de válvulas e bombas. Relatório conciso descrevendo as regras operacionais de controlo, níveis de operação de reservatórios, consignas de caudal e regulações de válvulas e bombas. Deverão ser devidamente documentadas as várias configurações físicas e as soluções de modelação adoptadas para as reproduzir.
Fase E – Implementação da solução-base	
<ul style="list-style-type: none"> Compilação dos ficheiros completos correspondentes aos cenários modelados, e estabelecimento das respectivas soluções-base (não calibradas) de modelação; eliminação dos erros detectáveis e afinação de opções de modelação; exploração das capacidades de simulação oferecidas, e primeira abordagem aos objectivos de modelação para ganho de sensibilidade; desenvolvimento de um Manual do modelo, por compilação e adaptação dos relatórios parcelares e das Fichas Técnicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Versões de base plenamente funcionais do modelo, de acordo com os cenários seleccionados previamente. Primeira versão do Manual do modelo. Relatório conciso descrevendo as versões de base do modelo e os aspectos mais relevantes da fase de eliminação dos erros detectáveis e afinação de opções de modelação.
Fase F – Calibração do modelo	
<ul style="list-style-type: none"> Identificação das necessidades de calibração e planificação dos trabalhos a executar; realização de campanhas de medição de rede (caudais e pressões) e de ensaios de perda de carga; calibração iterativa do modelo por comparação com os resultados de campo. 	<ul style="list-style-type: none"> Versões calibradas e plenamente funcionais do modelo, de acordo com os cenários seleccionados previamente. Atualização do Manual do modelo. Relatório conciso descrevendo os ensaios de perda de carga e as medições de rede efectuadas, bem como o processo de calibração do modelo.
Fase G – Exploração do modelo e planeamento da gestão futura	
<ul style="list-style-type: none"> Reavaliação dos objectivos prioritários para o modelo, inicialmente determinados na Fase A; estabelecimento do modelo em ambiente de utilização final, nos vários departamentos interessados, e exploração com vista à satisfação dos objectivos prioritários; estabelecimento de procedimentos de utilização do modelo; planeamento do desenvolvimento continuado do modelo; estabelecimento de procedimentos de actualização do modelo; estabelecimento de uma estratégia de formação interna; interligação com os sistemas de informação da EG; escolha de uma estratégia futura de <i>software</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Versões calibradas, funcionais e actualizadas do modelo, de acordo com os cenários seleccionados previamente e com as utilizações finais decididas. Manual completo e actualizado do modelo. Estrutura interna de gestão do modelo, sob a direcção do Gestor do Modelo. Relatório final de desenvolvimento do modelo.

À semelhança de outros modelos de simulação, este modelo também agrega uma vasta informação, tanto ao nível de cadastro, operacional e de facturação (Coelho, et al, 2006). Desta forma, as entidades envolvidas foram incentivadas a adquirirem ou melhorarem os seus sistemas de informação geográfica (SIG), facturação, telegestão e de medição de caudais.

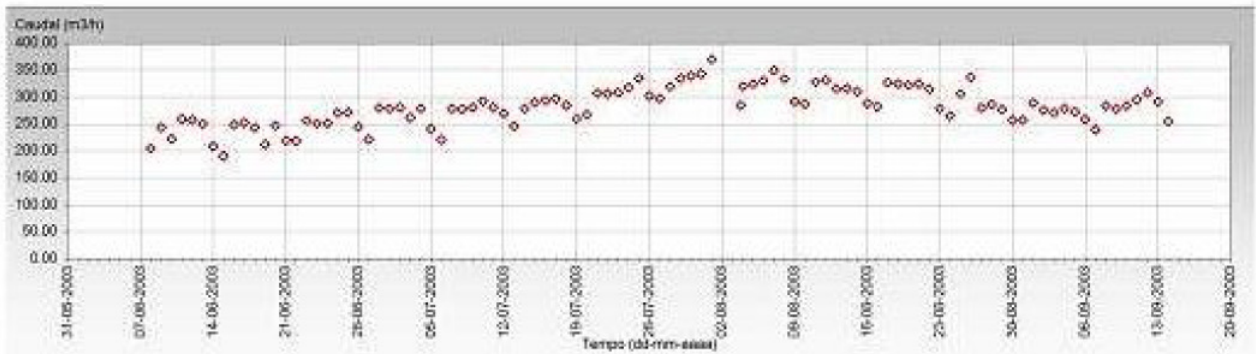
Os resultados obtidos através do MSH INSSAA podem ser expressos em formato gráfico, numérico, em fotografia do sistema inteiro em determinado instante ou através um filme relativo a um determinado componente (conduta, nó, válvula, reservatório, bomba) para o período simulado (Coelho, et al, 2006).

A aplicação deste modelo de simulação teve resultados diretos e indiretos. Dos resultados diretos destaca-se o seguinte, segundo Coelho, et al, 2007:

- Os modelos foram construídos, calibrados e documentados, tendo sido mesmo editado o manual do modelo;
- Vasta aplicação de modelação, desde o conhecimento dos tempos de percurso, apoio à sectorização, controlo de pressões, etc.;
- Criou-se uma vasta rede de canais internos entre as EG, o que proporcionou a troca de informação útil para o desenvolvimento dos diversos sistemas;
- Proporcionou-se, um conhecimento mais alargado dos setores da rede onde foram aplicados o modelo, tanto ao nível da informação física como do seu comportamento;
- Sistematizou a medição de caudais nos setores de distribuição, o que permite fundamentalmente um controlo de perda de água. Assim, um dos resultados do modelo é a monitorização e a análise dos caudais, que permite obter séries de caudais médios diários, como é apresentado na **Figura 3.8**.

Série de consumo médio diário em: Quinta

Período de cálculo: 7/6/2003 a 14/9/2003



Padrões de consumo normalizados em: Quinta Sector S1-Sul

Período de cálculo: 7/6/2003 a 14/9/2003

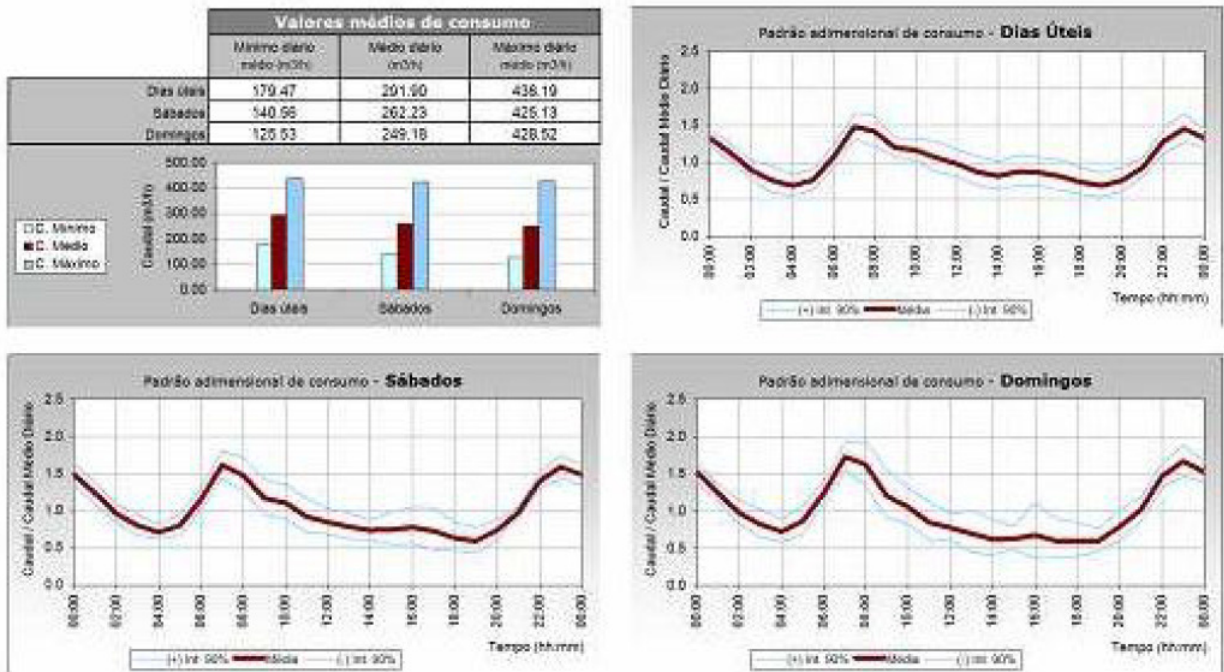


Figura 3.8 – Resultados do tratamento de dados de uma rede de abastecimento (Fonte Coelho, et al, 2007)

No que diz respeito aos resultados indiretos, a aplicação deste modelo destacou-se pelo seguinte, segundo Coelho, et al, 2007:

- A melhoria de informação ao nível do cadastro e georreferenciação de ramais;

- A produção de interligações tais como a ligação de um SIG à faturação do cliente;
- A possibilidade de atingir um rigor acrescido na formulação de balanços hídricos;
- Possibilidade de estudar previamente valores de grandezas hidráulicas nos setores inseridos no modelo.

Este modelo de simulação hidráulica é uma ótima ferramenta para as EG nacionais, como já foi referido, na medida em que já existe uma vasta experiência geográfica e temporal que permite a tipificação de determinados cenários. No entanto, a sua aplicabilidade esgota-se essencialmente numa ferramenta de trabalho exclusiva das EG. Para a implantação do modelo é necessária a aquisição de um programa dispendioso.

3.4. SELEÇÃO DO MODELO

Para a comparação dos modelos analisados optou-se por uma síntese das principais características dos modelos descritos, baseada na informação obtida através da revisão bibliográfica efetuada.

A seleção de um programa para simulação de um sistema de abastecimento de água deve ter em conta, prioritariamente, o fim a que se destina, o que determina o tipo de análise a efetuar, nomeadamente uma simulação estática, dinâmica ou de qualidade.

Atualmente existem vários, MSH, que permitem a determinação de parâmetros ligados à quantidade ou à qualidade da água, tendo-se efetuado uma revisão bibliográfica de alguns desses modelos. Esta área científica continua em desenvolvimento e novos modelos surgirão no futuro. Quase todos os programas aliam um modelo hidráulico a um modelo de qualidade e abrangem sub-rotinas que permitem a entrada e saída de dados, assim como, a respetiva apresentação.

Na **Tabela 3.2** resumem-se as principais características dos modelos descritos e analisados na simulação de sistemas de abastecimento de água, referindo-se o método numérico de resolução, quer do modelo hidráulico, quer do modelo de qualidade, o modo de gestão dos dados de entrada e saída, o ambiente gráfico em que estão inseridos e a natureza do modelo.

Tabela 3.2 – Tabela comparativa de modelos de simulação hidráulica (Rego, A. A. C., 2007)

Modelos	Análise Hidráulica	Análise de Qualidade	Gestão de Dados			Natureza
			Entrada	Saída	Interface	
Hidrocad	<p>Análise estática</p> <p>Resolução: método iterativo Newton/Rapson</p> <p>Modelação de rede de emergência e serviço de incêndio</p>	Não aplicável	<p>Com ou sem Autocad</p> <p>Numera automaticamente nós e troços. São indicados os pontos de adução e a sua pressão</p> <p>Padrões de consumo variados</p>	<p>Tabular</p> <p>Ligações a: Word, Excel, Autocad,</p>	<p>Importa ou exporta dados: dxf e txt</p>	Comercial
Epanet	<p>Análise estática e dinâmica</p> <p>Perdas de carga: Darcy – Weisbach,</p>	<p>Várias origens</p> <p>Determinação da idade da água</p>	<p>Com ou sem autocad</p> <p>Padrões de</p>	<p>Tabular ou gráfica</p> <p>Calibração de consumos e</p>	<p>Sistema: “point.click-dragdrop-move”</p> <p>Função de mapa</p>	Gratuito

Tabela 3.2 – Tabela comparativa de modelos de simulação hidráulica (Rego, A. A. C., 2007) (continuação)

Modelos	Análise Hidráulica	Análise de Qualidade	Gestão de Dados			Natureza
			Entrada	Saída	Interface	
	<p>Hazen-Williams e Manning-Strickler</p> <p>Resolução: método gradiente</p> <p>Modelação de bombas com velocidade constante e variável</p> <p>Modelação de reservatório de qualquer forma</p> <p>Modelação de vários tipos de válvulas</p>	<p>Identificação do percurso da água</p> <p>Resolução: métodos comandados pelo tempo</p> <p>Cinética das reacções no seio da água e parede da tubagem</p>	<p>consumo variados</p> <p>Regras de controlo de bombas e válvulas</p> <p>Curvas de bombas</p> <p>Modelo de teste de dados</p>	<p>rugosidade</p> <p>Ligações a: Word, Excel, Acess, Autocad, Arcview (SIG) Permite personalizar relatórios e filtrar resultados</p>	<p>query</p> <p>Guias “pop-up”, “wizard” e tutorias interativos para várias operações</p> <p>Visão animada no tempo</p>	
Watercad	Análise estática e	Várias origens	Com ou sem	Tabular ou gráfica	Sistema: “point-	Comercial

Tabela 3.2 – Tabela comparativa de modelos de simulação hidráulica (Rego, A. A. C., 2007) (continuação)

Modelos	Análise Hidráulica	Análise de Qualidade	Gestão de Dados			Natureza
			Entrada	Saída	Interface	
	<p>dinâmica</p> <p>Perdas de carga: Darcy – Weisbach, Hazen-Williams e Manning-Strickler</p> <p>Resolução: método gradiente</p> <p>Modelação de rede de emergência e serviço de incêndio</p>	<p>Determinação da idade da água</p> <p>Determinação de percurso da água</p> <p>Resolução: MDVE</p> <p>Cinética de reações no seio da água e paredes da tubagem</p>	<p>Autocad</p> <p>Numera automaticamente nós, troços, bombas, reservatórios</p> <p>Padrões de consumo variados</p> <p>Regras de controlo de bombas e válvulas</p> <p>Curvas de bombas</p> <p>Modelo de teste de dados</p>	<p>Saída para fax, plotter ou impressora</p> <p>Calibração de consumos e rugosidade</p> <p>Ligação a: Word, Excel, Acess, Autocad, ArcView (SIG)</p>	<p>click-dragdrop-move”</p> <p>Interface gráfica para Windows 95, 98, 2000, NT, Autocad R14 ou 2000</p> <p>Função de mapa “Query”</p> <p>Guias “pop-up”, “wizard” e tutoriais interactivos para várias operações</p>	

Tabela 3.2 – Tabela comparativa de modelos de simulação hidráulica (Rego, A. A. C., 2007) (continuação)

Modelos	Análise Hidráulica	Análise de Qualidade	Gestão de Dados			Natureza
			Entrada	Saída	Interface	
Strumap	<p>Análise estática e dinâmica</p> <p>Análise de fugas</p> <p>Relatório de desempenho configurável</p> <p>Balanço Hídrico</p>	<p>Várias origens</p> <p>Determinação da idade da água</p> <p>Determinação de percurso da água</p>	<p>Gráficos, mapas, linhas e dados de lógica</p> <p>Integra informação georreferenciada</p> <p>Capacidade de manipular grandes conjuntos de dado a partir de muitas fontes</p>	<p>Tabular, gráficos ou gráfica</p> <p>Permite personalizar relatórios e filtrar resultados</p>	<p>Base de dados: Oracle 9i</p> <p>Visual Basic</p> <p>Sistemas de Informação Geográfica</p> <p>Importa e exporta: EXEL e modelos em rede</p>	Comercial
Synergiee Water	<p>Análise estática e dinâmica</p> <p>Perdas de carga: Darcy – Weisbach, Hazen-Williams e</p>	<p>Várias origens</p> <p>Determinação da idade da água</p> <p>Determinação de</p>	<p>Padrões de consumo variados</p> <p>Regras de controlo de bombas e válvulas</p>	<p>Tabular ou gráfica</p> <p>Permite várias vistas simultâneas</p> <p>Módulo Geo-Backgroud para</p>	<p>Sistema: “point – clik-dragdrop-move”</p> <p>Importa ou exporta dados do ACCESS e gráficos: DXF, DGN, MIF, SHP,</p>	Comercial

Tabela 3.2 – Tabela comparativa de modelos de simulação hidráulica (Rego, A. A. C., 2007) (continuação)

Modelos	Análise Hidráulica	Análise de Qualidade	Gestão de Dados			Natureza
			Entrada	Saída	Interface	
	Manning-Strickler Módulo de delimitação de zonas	percurso da água Determinação da concentração de 2 substâncias em simultâneo	Curvas de bombas Módulo de gestão de clientes Extração de subsistemas	imagens raster ou vetoriais Filtração dos resultados	TIF, BMP Pode permutar dados com SCADA	

No que diz respeito ao modelo INSSAA, este não é apresentado na **Tabela 3.2**, na medida em que este modelo, se adequa quase exclusivamente às EG dos sistemas de abastecimento e tem características próprias, tal como descrito anteriormente.

De acordo com Rego, A. A. C., 2007, na análise comparativa dos MSH deverão ser levados em consideração as seguintes características:

- O custo;
- A facilidade de utilização;
- A operacionalidade e flexibilidade do programa;
- A robustez do modelo;
- A velocidade de processamento;
- As componentes representadas;
- A interface com o utilizador;
- As características do modelo de qualidade;
- A integração com bases de dados de CAD, SIG e SCADA;
- O apoio técnico e a documentação.

Neste sentido, apresenta-se a **Tabela 3.3** para comparar as características anteriormente enunciadas dos MSH apresentados na revisão bibliográfica.

Tabela 3.3 – Tabela comparativa das características dos modelos de simulação hidráulica apresentados (Rego, A. A. C., 2007)

	Hidrocad	Epanet	Watercad	Strumap	Synergiee Water
Custo	Amarelo	Azul	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Facilidade de utilização	Azul	Azul	Amarelo	Amarelo	Vermelho
Operacionalidade e flexibilidade do programa	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Azul	Amarelo
Robustez do modelo	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Azul
Velocidade de processamento	Vermelho	Amarelo	Azul	Azul	Azul
Componentes representadas	Vermelho	Azul	Azul	Amarelo	Azul
Interface com o utilizador	Amarelo	Azul	Amarelo	Amarelo	Vermelho
Caraterísticas do	Vermelho	Amarelo	Azul	Vermelho	Vermelho

Tabela 3.3 – Tabela comparativa das características dos modelos de simulação hidráulica apresentados (Rego, A. A. C., 2007)

(continuação)

	Hidrocad	Epanet	Watercad	Strumap	Synergie Water
modelo de qualidade	Red	Yellow	Blue	Red	Red
Integração com bases de dados de CAD, SIG e SCADA	Yellow	Yellow	Blue	Yellow	Yellow

Classificação:

Não Satisfaz	Red
Bom	Yellow
Muito Bom	Blue

Dos MSH de sistemas de abastecimento de água estudados neste trabalho, e atendendo aos requisitos a analisar, para proceder à comparação dos modelos, selecionaram-se os modelos Epanet, Watercad e Strumap como sendo os que apresentam, as melhores características de aplicação neste trabalho. No entanto, a seleção do modelo a aplicar recaiu no modelo Epanet, não só pelas suas potencialidades, mas também por ser um programa gratuito e aplicado com maior abrangência. Deste modo, o Epanet, reúne as melhores características para a análise pretendida. As principais razões que motivaram esta seleção foram as seguintes:

- Programa adequado às necessidades atuais de simulação;
- Fiabilidade do modelo e investigação realizada sobre o domínio, nomeadamente desenvolvida em Portugal pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- Utilização livre e gratuita, não havendo qualquer restrição ao seu uso;
- Utilização universal, existindo fóruns de discussão sobre a matéria;
- Existência de pequenas extensões ao Epanet de utilização gratuita (exemplo: DXF2EPA para converter ficheiros de Autocad em Epanet).

4.2. CARATERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Instituto de Investigação Agronómica de Chianga localiza-se a cerca de 8 Km a sudeste da cidade de Huambo e insere-se na zona de Planalto Central de Angola. Este planalto apresenta um clima tropical de altitude. As características climáticas associadas à geomorfologia e à geologia, proporcionaram a formação de abundantes linhas de água superficiais e aquíferos.

O Planalto Central delimita a separação de bacias hidrográficas muito importantes na província, sendo que para noroeste corre o rio Queve, para nordeste o rio Cutato, afluente do rio Cuanza, para sul o rio Cubango e para sudoeste o rio Cunene.

No que respeita à qualidade da água, o rio Cunene constitui o principal recetor das águas residuais doméstico. A maior concentração de poluição vem do seu afluente, o rio Calohumbula, que nasce no centro da cidade de Huambo e transporta todo tipo de resíduos para o mesmo. Situação idêntica ocorre com o rio Queve (PAM, 2005).

A área de estudo é caracterizada por um clima alternadamente húmido e seco das regiões intertropicais de ventos moderados. Devido à altitude a que a maior parte do território da província de Huambo se encontra, o clima é em geral temperado, mesotérmico quente com inverno seco e verão chuvoso (classificação de Koppen, 1936), sendo a temperatura média anual inferior a 20º C. A precipitação atinge uma altura pluviométrica média anual igual ou superior a 1400 mm. A estação das chuvas decorre durante sete meses, de Outubro a Abril e caracteriza-se pela presença de 2 máximos na curva das precipitações, um em Novembro ou Dezembro e outro em Março ou Abril. Estes dois máximos são separados por um período de chuvas mais escassas e que é designado na região por “pequeno cacimbo”. O “grande cacimbo” é coincidente com a estação de seca que vai de maio a agosto. Os meses de setembro e abril são meses de transição (Benguela, Z. B., et. al., 2000).

4.2.1. ENQUADRAMENTO LOCAL

As instalações do Instituto de Investigação Agronómica ocupam uma área da ordem de 20 hectares (10 dos quais destinados a futura expansão). Como origem de água, estão identificadas duas pequenas bacias, uma vocacionada para o abastecimento de água para consumo humano e outra para a rega.

O presente estudo incide apenas no sistema de água para consumo, não sendo contemplado o fornecimento de água para rega.

O objeto do caso de estudo é, assim, a remodelação do sistema de abastecimento para consumo humano e serviços do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga. Para tal, consideram-se os seguintes órgãos na sequência do que atualmente existe, devidamente remodelado ou substituído:

- Captação na bacia atual, cerca da cota 1686 m;
- Bombagem e conduta elevatória para uma cota de 1760.82 m, onde se situa um reservatório apoiado coberto com 150 m³ de capacidade, que será aproveitado e inserido no sistema;
- Construção de uma instalação de tratamento;
- Estabelecimento de uma rede de distribuição, desenvolvendo-se entre as cotas 1707.32 e 1727.74 m (cotas de terreno).

Na **Figura 4.2** apresenta-se a planta geral do sistema de abastecimento do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga.



Figura 4.2 – Planta geral do sistema de abastecimento do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga (fonte: Proplano, 2011)

4.2.2. CARATERIZAÇÃO DOS ÓRGÃOS QUE CONSTITUEM O SISTEMA DE ABASTECIMENTO

O sistema apresenta-se descrito nos sub - capítulos que se seguem numa sequência de montante para jusante.

4.2.2.1. CAPTAÇÃO

A solução existente consistia numa bomba horizontal instalada num abrigo de alvenaria, aspirando junto da margem por intermédio de um tubo vertical.

Trata-se de uma solução que exige que uma válvula de pé, necessariamente existente no troço mergulhado do tubo, esteja sempre operacional, de forma a impedir o esvaziamento da tubagem e desferragem da bomba. O mau funcionamento dessa válvula obriga a intervenção humana de emergência, através do desbloqueamento da válvula e sobretudo através do reenchimento da tubagem de aspiração e da bomba.

Sendo a captação efetuada numa lagoa com uma profundidade máxima de 2 metros, mas com margens e fundos irregulares e com elevada densidade de plantas, o seu afastamento da margem é recomendável. Ao afastamento cresce a extensão da tubagem de aspiração, que aumentam as dificuldades acima referidas e podem comprometer as condições ideais de aspiração.

O recurso a bombas submersíveis, constitui uma alternativa, relativamente às bombas “em poço seco” colocadas na margem (solução existente). Podem no entanto apresentar a desvantagem, acrescida de dificuldade de acesso para manutenção e reparação.

Face à altura de elevação, e também ao reduzido caudal, entendeu-se que se deverá preconizar a solução seguinte:

- Grupo eletrobomba submersível para poço, mas encamisado e colocado em posição horizontal (devido à pequena altura de água disponível), colocado num “berço” suportado por jangada, colocada na zona central (mais profunda) da lagoa. Atendendo à pequena distância em causa, o acesso à margem e o encaminhamento da conduta adutora estabelece-se através de passadiço, igualmente flutuante, de acesso à referida jangada, conforme se apresenta na **Figura 4.3**.

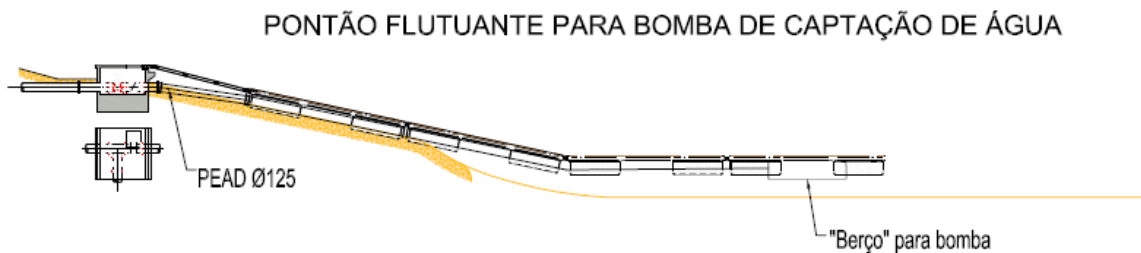


Figura 4.3 – Passadiço flutuante de acesso à jangada de apoio à bomba (fonte: Proplano, 2011)

- Tubagem de compressão em PEAD DN 125 (extensão da conduta elevatória) suspensa sob o passadiço referido, assim como, o cabo elétrico de alimentação da bomba.

A informação relativamente às características da água a captar encontra-se no **Anexo II**. A bomba – para o caudal e altura de elevação em causa – só está disponível no mercado, em princípio, para águas limpas (águas de furos), sendo de rezear a colmatção do ralo de aspiração por lodos da lagoa. Em alternativa a uma manutenção particularmente cuidada e frequente, entendeu-se neste caso prever um dispositivo consistindo em:

- “Picagem” no troço inicial da tubagem de compressão, munido de válvula de seccionamento e regulação, e orientada, no “berço” de alojamento da bomba, em direção ao ralo de aspiração;
- Em função do que a própria experiência de exploração venha a recomendar, a referida válvula será aberta, permanentemente ou esporadicamente, de forma a provocar uma limpeza do ralo. Esta ação não eliminará outras operações de manutenção mais complexas – com elevação e colocação a seco do grupo – mas deverá permitir reduzir a sua periodicidade;
- O abrigo em alvenaria existente na margem será recuperado, alojando-se nele o gerador, quadro elétrico e demais instrumentação.

Nas **Figuras 4.4 e 4.5** apresenta-se a solução preconizada.

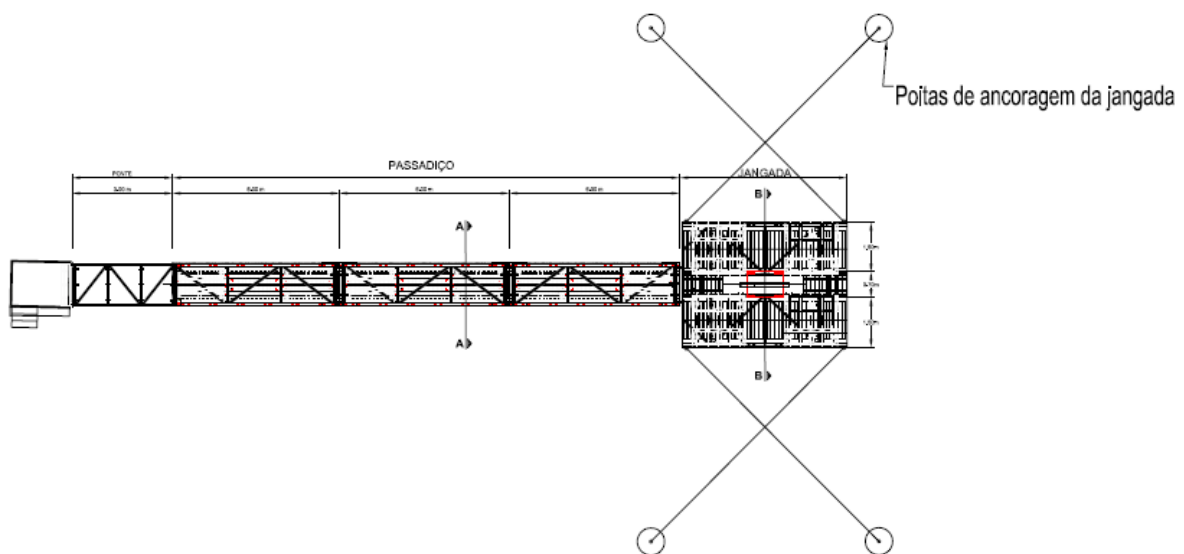


Figura 4.4 –Jangada de apoio à bomba, (fonte: Proplano, 2011)



Figura 4.5 – Pormenor de “berço” para a bomba (fonte: Proplano, 2011)

4.2.2.2. ADUÇÃO (CONDUTA ELEVATÓRIA)

No **Anexo I** é apresentado o cálculo do caudal de dimensionamento (7.2 L/s), necessário para abastecer o sistema e abastecimento do Instituto de Investigação Agronómica. A bombagem estima-se que tenha duração média de 8 h/dia.

A escolha do diâmetro da conduta, foi realizada através do estudo da determinação dos diâmetros mais económicos, tendo como equação de base (Quitela, A. C., 2000):

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\Pi \times \frac{D^2}{4}}$$

Em que:

V – velocidade de escoamento (m/s)

Q – caudal de dimensionamento (m³/s)

D – diâmetro da conduta (m)

Para o dimensionamento do diâmetro das condutas, utilizou-se o critério das velocidades. Este critério baseia-se, no facto de existir uma faixa de velocidades que constitui um intervalo ótimo, para o qual os diâmetros devem ser dimensionados. A determinação desse intervalo varia consoante o troço seja efectuado por bombagem (0.7 a 1.5 m/s) ou por gravidade (0.3 a 1.5 m/s) (D.G.R.N., 1991).

A justificação deste critério, baseia-se no facto de velocidades muito baixas implicarem acumulação de bolsas de ar e elevados tempos de retenção nas condutas, contribuindo para a deteriorização da qualidade da água (D.G.R.N., 1991).

No que respeita ao limite máximo, há a necessidade de se evitar situações como o golpe de ariete, que origina fenómenos de cavitação e graves problemas de desgaste das condutas (D.G.R.N., 1991).

No entanto, de uma forma geral, segundo o disposto na alínea b) do nº1 do Artigo 21º, do Decreto – Regulamentar nº 23/95, de 23 de Agosto, a velocidade mínima de escoamento na conduta não deve ser inferior a 0.3 m/s, e não deverá exceder o valor calculado pela fórmula, $V = 0.127 D^{0.4}$, alínea a) do mesmo artigo.

Assim, para um pré-dimensionamento de condutas sob-pressão, considerou-se uma faixa de velocidades, cujo respetivo diâmetro mais favorável é apresentado na **Tabela 4.1**.

Tabela 4.1 - Pré dimensionamento da conduta adutora

Q (m3/s)	D (interno) (mm)	V (m/s)
0.0072	110.8	0.75

A conduta elevatória será em PEAD PN1,6MPa, DN125 com cerca de 1004 metros de extensão.

Para o cálculo das perdas de carga unitária contínuas, foi utilizada a fórmula de Colebrook – White (Quintela, A., 2000). A expressão utilizada foi a seguinte:

$$J_{n+1} = \frac{U^2}{8gD} \log_{10}^{-2/5} \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51\nu}{D\sqrt{2gDJ_n}} \right)$$

em que:

J_{n+1} – perda de carga unitária contínua (m);

D – diâmetro interno da conduta (m);

U – velocidade média na conduta (m/s);

k - rugosidade absoluta da conduta (m);

ν – viscosidade cinemática da água (m²/s);

g - aceleração da gravidade (m/s²).

De forma a contabilizar as perdas de carga localizadas, foi considerado um acréscimo de 10% relativamente às perdas de carga contínua.

Para um caudal de dimensionamento de 7.2 L/s a perda de carga unitária é de 0.0048 m/m, que agravada em 10 % para compensar as perdas de carga localizadas atinge o valor de 0.0102 m/m. Ao longo dos 1004 m de conduta ocorre uma perda de carga total de 10.26 m.

Assim, as condições de escoamento para a conduta elevatória serão as seguintes:

$D_{\text{interior}} = 110.8 \text{ mm}$

$V = 0.75 \text{ m/s}$

$j = 0.0048 \text{ m/m}$

Perda de carga. na ETA: < 5 m

Na presente circunstância, a altura total de elevação, e portanto a pressão máxima em regime permanente, será de:

$$1760.82 - (1686 - 2) + 10.26 = 87.08 \text{ m.c.a.}$$

Refira-se que a lagoa de captação está a uma cota de 1686 m e considerou-se que a mesma tem uma profundidade de 2 m e o reservatório elevado está a uma cota de 1760.82m.

Note-se que, de forma a evitar a necessidade de sistemas de proteção contra golpe de aríete, recorreu-se a um diâmetro, o maior possível, destinado a obtenção de velocidades particularmente baixas, mas respeitando a velocidade mínima admissível para uma conduta elevatória. Parece esta opção mais conveniente do que a de adotar dispositivos adicionais de proteção.

Refira-se que o estudo de proteção contra o golpe de aríete não faz parte do âmbito deste trabalho.

4.2.2.3. INSTALAÇÃO DE TRATAMENTO

Arbitra-se para caudal de tratamento o caudal de 7,2 L/s (\cong 0,4 m³/min), o que corresponde a um período diário de funcionamento máximo de 10 h/dia.

O tratamento será localizado entre a captação e o reservatório elevado de 150 m³. A qualidade da água é caracterizada pelas análises apresentadas no **Anexo II**, que é a única informação disponível. Assim, preconiza-se que a linha de tratamento inclua a seguinte sequência de processos (Santana F., et. al., 1998):

- **Pré-oxidação** – directamente por intermédio de bombas doseadoras com injeção de hipoclorito de sódio para pré-oxidação e um coagulante ou reagente para correção de pH.
- **Filtração** – Por intermédio de um filtro multicamada de areia e antracite. Esta etapa permitirá remover a matéria e as partículas resultantes da precipitação química da etapa anterior.
- **Desinfecção por injeção química** – a desinfecção será efectuada por intermédio do desinfectante de hipoclorito de sódio.

O diagrama de processo aplicado nesta ETA dispõe da linha de tratamento anteriormente descrita e sendo representa na **Figura 4.6**.

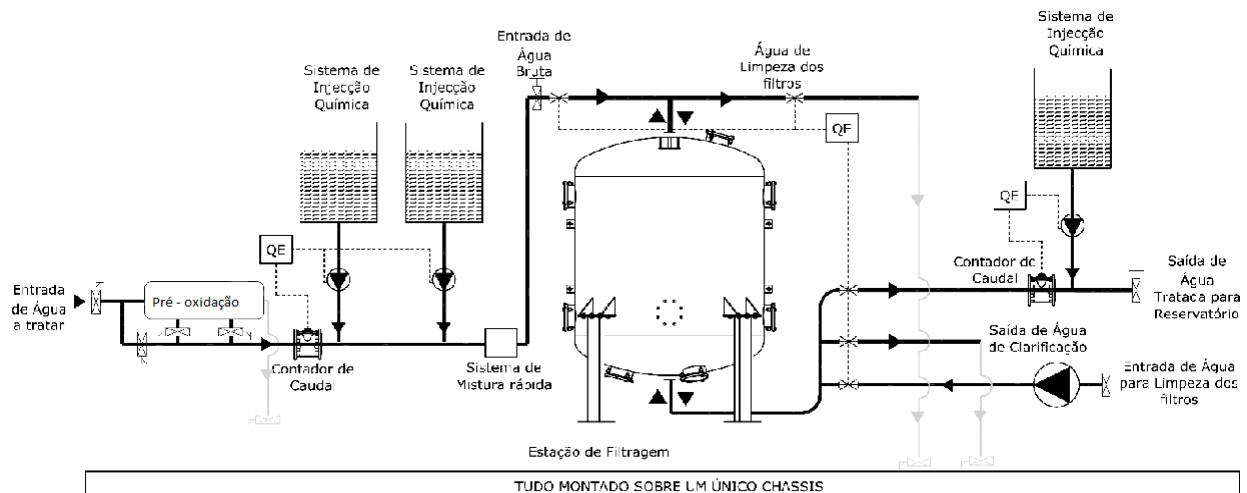
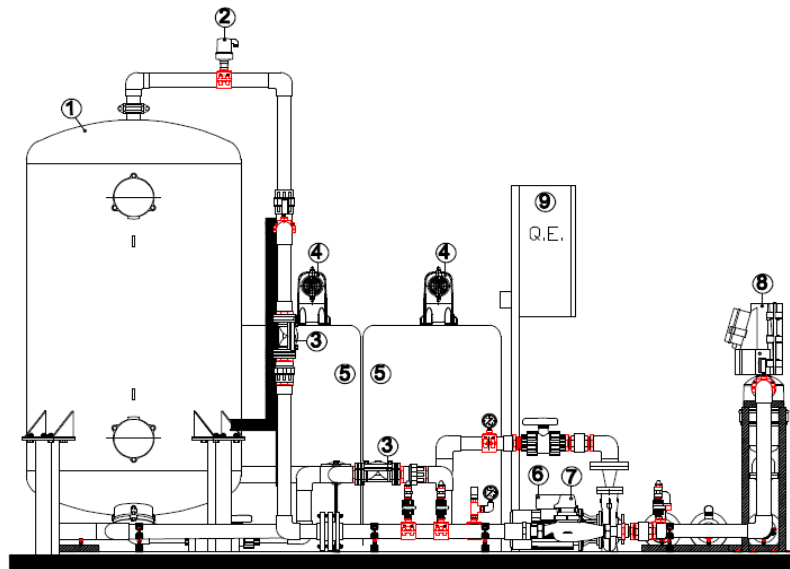
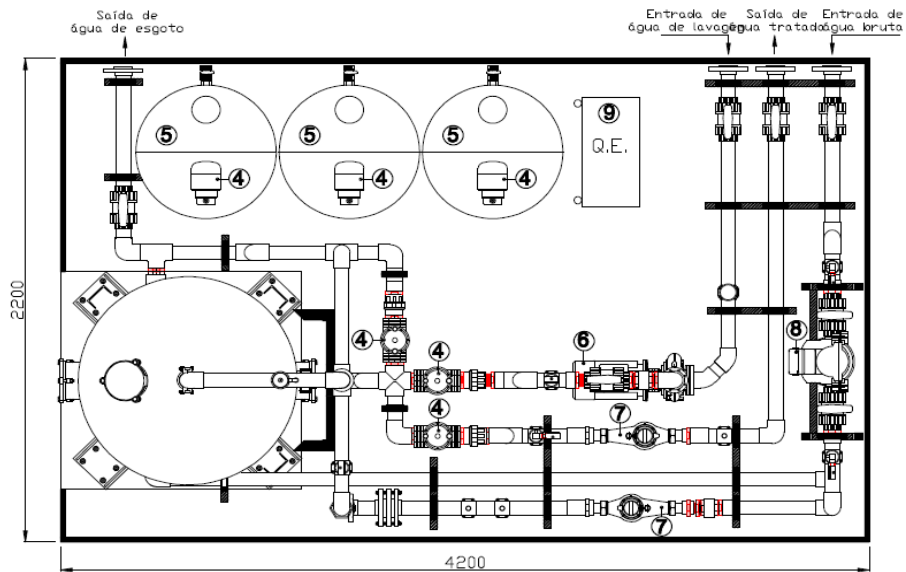


Figura 4.6 – Diagrama de processo da ETA (fonte: Proplano, 2011)

A ETA preconizada deverá dispor, à saída, de uma carga mínima de 150 kPa. Considerando a perda de carga máxima, numa situação de filtros colmatados, de cerca de 50 kPa, haverá que garantir condições de adução fornecendo a pressão na entrada, de 200 kPa (20 m.c.a.).

As pressões indicadas, de entrada e saída, são valores mínimos. A existência da carga de saída referida, significa que a colocação da instalação a cota próxima da entrada, no reservatório de água tratada, resultaria numa inútil perda de energia. Foi por isso escolhido para implantação um local a cerca de 360 metros de distância do reservatório elevado, numa área de fácil acesso, à cota aproximada de 1740 m.

A alimentação em energia elétrica será garantida por um grupo gerador próprio, a alojar em conjunto com o reservatório de combustível e o respetivo quadro elétrico sob um telheiro junto à ETA. O conjunto – telheiro da ETA e telheiro das instalações elétricas – será rodeado por vedação em rede metálica. Na **Figura 4.7** apresenta-se uma planta e um corte da ETA preconizada.



N.º Ref.	Designação	Qt.
1	Filtro	1
2	Ventosa ARI TF, mod. D-040-C, 1"	1
3	Válvula hidráulica, DOROT, mod. 75-3-EL	5
4	Bomba dosadora, DOSEURO, mod. SWM 210-12	3
5	Depósito para reagentes, ROTOPORT, mod. DSD 500, cap. 500 lt	3
6	Electrobomba horizontal GRUNDFOS, mod. NB32-160/177	1
7	Contador de água ARAD, mod. woltman turbo WT80 mm	2
8	Filtro automático AMIAD, mod. TAF 750, 3"	1
9	Quadro eléctrico de comando e controlo dos equipamentos	1

Figura 4.7 – ETA compacta (fonte: Proplano, 2011)

4.2.2.4. DISTRIBUIÇÃO

A área a abastecer abrange cerca de 45 edifícios de dimensão variável, com 1 ou 2 pisos, localizados segundo uma pendente que, no sentido leste-oeste, desce desde a cota 1727.74 até 1707.32 m.

A disposição dos edifícios e dos seus acessos, sugere o estabelecimento de uma malha alimentada a partir do seu vértice localizado a nordeste e um prolongamento não malhado no sentido oeste – sudoeste, de cotas mais baixas. Desta forma, o ponto crítico corresponde a um edifício com dois pisos, com soleira à cota 1727,13 m.

O caudal de ponta de dimensionamento é de 7.2 L/s. O dimensionamento da rede é apresentado em capítulo posterior, a quando da simulação do modelo de abastecimento de água do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga.

O ponto crítico localiza-se a cerca de 1000 m do local onde se situa o reservatório existente, o que significa, que a manter-se o diâmetro até àquele local, haverá uma perda de carga total da ordem dos 8 m.c.a..

A rede deverá contemplar não só o abastecimento aos diversos edifícios, como as necessidades mínimas de combate a incêndio. Desta forma, estabelece-se o tronco de entrada principal com diâmetro de DN125. No que diz respeito à restante rede de distribuição, opta-se por diâmetros DN110 e DN90 nas outras condutas, formando malha.

4.2.2.5. RESERVA E CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Entre o tratamento e a distribuição, há necessidade de um volume destinado a regularização da flutuação de consumos na distribuição, e se possível reserva para avarias e combate ao incêndio (D.G.R.N., 1991). Esse volume terá de ser necessariamente coberto por se tratar de água tratada.

Face aos valores já referidos – caudal de ponta e consumo diário, essa função será desempenhada pelo reservatório existente de 150 m³.

A cota de soleira deste reservatório é de 1760.82 m. O reservatório elevado tem uma altura de 10 metros e um diâmetro de 6 m, sendo que a altura máxima de água é de 1775.82 m.

O reservatório deverá ser alvo de uma reabilitação geral para colocação em serviço.

4.3. APLICAÇÃO DO MODELO EPANET

Para a simulação do modelo de abastecimento de água ao Instituto de Investigação Agronómica de Chianga foi aplicado o modelo de Epanet. Como já foi referido no **Capítulo 3.3.2**, este programa possibilita a execução os dois tipos de simulação, estática e dinâmica, no domínio hidráulico e de qualidade da água, em sistemas de distribuição (Rossman, L., 2002). Este trabalho restringe-se a uma simulação hidráulica estática do sistema.

O modelo de simulação foi tratado de uma forma estruturada e ordenada, de modo a salvaguardar a otimização do esforço e recursos investidos, tanto na formulação da solução inicial, como na conservação do sistema ao longo da sua vida útil.

Os algoritmos numéricos são a base para a resolução das equações matemáticas (Coelho, S.T., et al, 2006). Será então assim que se procede à construção do modelo de simulação.

Neste sentido, a modelação de um sistema de abastecimento de água, inicia-se com uma representação esquemática associando ao sistema como sendo um conjunto de troços ligados a nós. Os troços representam as tubagens (condutas), bombas e válvulas de controlo. Os nós, cuja posição é definida através de coordenadas planimétricas e de uma cota, representam junções, reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variável (RNV). Os nós e os troços são as componentes físicas da rede de distribuição (Coelho, S.T., et al, 2006).

Na **Tabela 4.2** apresenta-se o formato como os vários elementos são modelados e a sua respetiva função no Epanet:

Tabela 4.2 - Elementos utilizados para a modelação de uma rede (Coelho, S.T., et al, 2006)

Elemento	Tipo	Função
Nó	Nó	Ponto de ligação entre dois ou mais troços; saída (consumo) ou entrada (abastecimento) de água no sistema.
Reservatório de nível fixo (RNF)	Nó	Armazenamento a partir de um nível de água fixo e com uma capacidade de ilimitada; fornece ou recebe água do sistema.
Reservatório de nível variável (RNV)	Nó	Armazenamento com capacidade de limitada e nível de água variável, em função do balanço dos caudais entrado e saído; fornece ou recebe água do sistema.
Conduta	Troço	Transporte de água entre dois nós.
Bomba	Troço	Fornecimento de energia ao escoamento entre dois nós, aumentando a sua carga hidráulica.
Válvula de controlo	Troço	Regulação do caudal ou da carga hidráulica entre dois nós.

De acordo com Coelho, S. T., et. al. 2006 e Rossman, L., 2002, a modelação de um sistema de abastecimento de água através do Epanet caracteriza-se pelo seguinte faseamento:

- **1.ª Fase** – Planeamento do modelo;
- **2.ª Fase** – Construção do modelo:
 - Conceção do sistema de abastecimento de água;
 - Descrição física do sistema;
 - Consumos;
 - Controlo operacional;
- **3.ª Fase** – Implementação da solução-base;
- **4.ª Fase** – Verificação do modelo;
- **5.ª Fase** – Execução de simulações para os diversos cenários, visualização e análise dos resultados;

- **6.ª Fase** – Exploração do modelo e planeamento da gestão futura.

Em síntese, os dados essenciais para a construção do modelo de simulação podem agrupar-se, segundo Rossman, L., 2002 em:

- Dados descritivos das características dos objetos físicos do sistema, tais como condutas, reservatórios, válvulas e bombas, incluindo a indicação de coordenadas e cotas dos nós que os definem e o traçado da rede resultante;
- Dados de consumos e de caudal, que simulam a distribuição espacial e o comportamento temporal das solicitações do sistema;
- Dados sobre o funcionamento operacional do sistema, que indicam o modo como os seus componentes controláveis são operados, por exemplo, grupos elevatórios e válvulas.

A metodologia do presente estudo segue as fases referidas anteriormente.

4.4. PLANEAMENTO DO MODELO

A base de desenvolvimento do modelo foi criada em Autocad 2008, que permite a esquematização dos órgãos que constituem o modelo.

Procedeu-se à recolha da informação junto do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga. A informação disponibilizada foi o cadastro dos edifícios, do reservatório existente, da lagoa de captação e da rede de distribuição deficitária existente. Foi ainda disponibilizado pelo mesmo Instituto, o levantamento topográfico da área de estudo.

Na **Figura 4.8** apresenta-se um esquema estrutural da simulação hidráulica do sistema de abastecimento, com recurso ao programa Epanet.

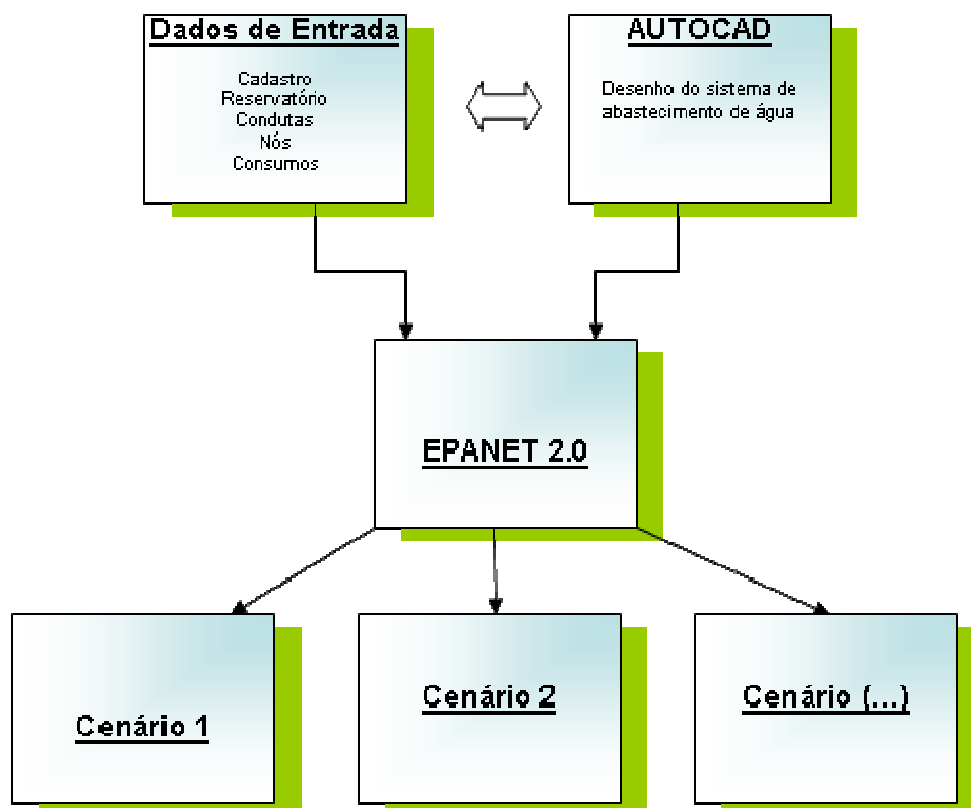


Figura 4.8 – Esquema da estrutura do modelo Epanet

4.5. CONSTRUÇÃO DO MODELO

Numa primeira fase que antecede o carregamento de dados para o modelo, foram 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.

Na **Tabela 4.3** apresentam-se as principais grandezas usadas na modelação, segundo Coelho, S. T., et al., 2006.

Tabela 4.3 – Principais grandezas usadas na modelação (Coelho, S. T., et al., 2006)

Parâmetros	Unidades
Carga hidráulica	m
Caudal	L/s
Rugosidade absoluta	mm
Comprimento	m
Concentração	mg/l
Consumo	L/s
Cota	m
Diâmetro (reservatório)	m
Diâmetro (condutas, válvulas ou bombas)	mm
Energia	kWh
Tempo de percurso	h
Perda de carga unitária	m/km
Potência	kW
Pressão (altura piezométrica)	m
Rendimento	%
Velocidade	m/s
Volume	m ³

A rede de abastecimento de água foi desenhada em Autocad e através da extensão do Epanet DXF2EPA, procedeu-se à conversão da rede e início da construção do modelo. A extensão do programa DXF2EPA permite a integração do desenho de Autocad do sistema de abastecimento com o programa de modelação hidráulica “Epanet 2.00” (Rossman L., 2000). No entanto, a referida extensão está limitada à inserção do sistema adutor e de distribuição. No que diz respeito à localização da captação, representada no modelo pelo RNF e à localização do reservatório (RNV), estes tiveram que ser acrescentados diretamente no Epanet, nas respetivas coordenadas. A **Figura 4.9** apresenta a rede introduzida.

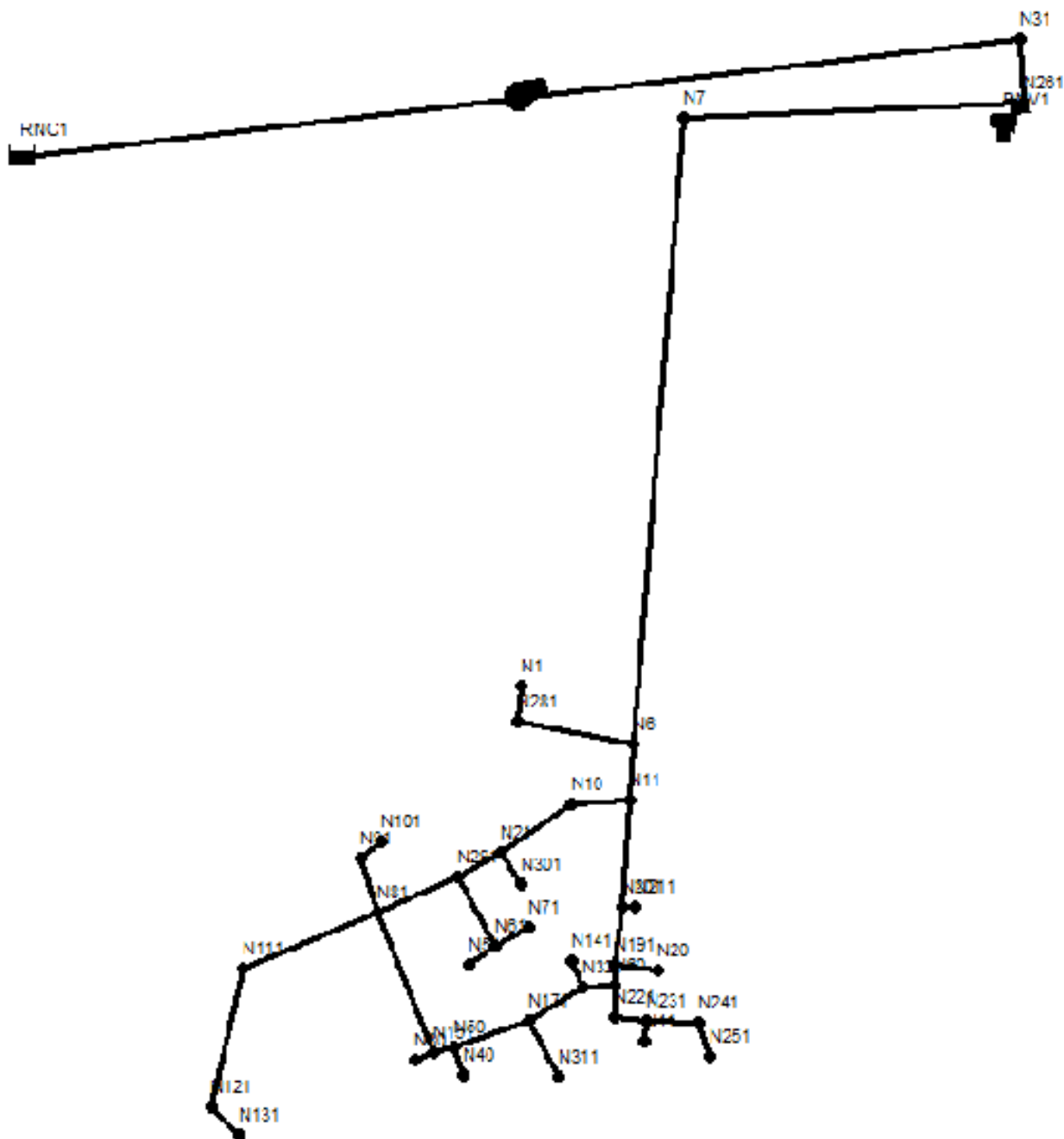


Figura 4.9 – Rede de abastecimento do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga

4.5.1. DESCRIÇÃO FÍSICAS DO SISTEMA

O sistema de abastecimento estudado é constituído pelos seguintes elementos:

- Válvulas;
- Nós;
- Conduatas;
- Reservatórios;
- Conduata elevatória.

A nomenclatura a conferir aos elementos físicos da rede – nós, conduatas, válvulas, reservatórios e conduata elevatória, está sujeita a alguns critérios por parte da simulação hidráulica a ser efetuada (Rossman L., 2000).

Em síntese, as intervenções preconizadas no sistema de abastecimento do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga, que servirá de caso de estudo da simulação hidráulica a efetuar neste trabalho, consistem em (Proplano, 2011):

Captação:

Instalação de um passadiço e jangada colocada a cerca de 20 metros da margem, para alojamento de um grupo de bombagem submersível (a colocar horizontalmente). A electrobomba será em aço inox, destinada à elevação do caudal nominal de 7.2 L/s a aproximadamente 85 m.c.a. de elevação. O fornecimento inclui válvula de retenção incorporada, transmissor de temperatura incorporado, assim como o cabo de alimentação até às instalações situadas na margem.

O grupo gerador e comandos serão colocados no abrigo de alvenaria existente na margem, devidamente recuperado. A água de abastecimento é captada numa lagoa, que é representada no modelo por um RNF.

Conduata elevatória:

A conduata elevatória será construída em PEAD DN125 PN1,6MPa PE100, com cerca de 1030 metros de extensão, com entrega em reservatório elevado, existente. O ponto de partida desta conduata será a captação. No seu percurso, será intercalada a estação de tratamento descrita anteriormente no **capítulo 4.2.2.3.**

Para a caracterização destes elementos são necessários os seguintes dados:

- ID da bomba;
- Cota de aspiração;

- Tipo de bomba (velocidade fixa ou velocidade variável);
- Identificação da curva característica da bomba;
- Regulação da velocidade.

A bomba é definida através de uma curva característica da bomba, com o caudal necessário para abastecimento e a respetiva altura de elevação.

Estação de tratamento:

A estação de tratamento de água (ETA) preconizada, é do tipo compacta e é intercalada no percurso da adução, a uma cota cerca de 45 a 50 metros inferior à de entrada no reservatório, dimensionada para o caudal de aproximadamente 7.2 L/s. A sua alimentação em energia será efetuada por um grupo gerador próprio no mesmo recinto. A ETA é descrita porque faz parte do sistema, mas não foi objeto da modelação efetuada.

Reservatório de origem da distribuição:

Para o reservatório de distribuição irá aproveitar-se o reservatório existente, devidamente reabilitado. Este elemento físico foi inserido no modelo como um RNV.

A simulação do reservatório de nível variável efetuou-se de forma a que este se encontre cheio, na sua situação inicial, correspondendo este valor à altura de água máxima. Relativamente à altura mínima, esta corresponde ao nível mínimo admissível no funcionamento do reservatório. Os dados necessários para a simulação do modelo são inseridos nas propriedades deste elemento do sistema, (Rossman, L., 2002).

Rede de distribuição:

A rede de distribuição será modelada e dimensionada para o caudal de ponta de 7.2 L/s. A tubagem da rede será constituída por PEAD PN1,0 MPa PE100 e os diâmetros utilizados foram de DN 125 DN110 e DN90. O diâmetro mínimo aplicado foi de DN 90, para que rede possa simultaneamente ser uma rede de distribuição de água e de combate a incêndio. Neste caso, dadas as características do local, e segundo o regulamento português (DR 23/95 de 23 de Agosto), considerou-se um grau de risco I. O sistema de modelação assume a rede de distribuição como sendo uma sucessão de troços de tubagem e de nós.

Assim, as condutas foram divididas por troços, de modo a representar a evolução das mesmas ao longo do terreno. Considerou-se um troço de conduta sempre que existem derivações, caixas de

acessórios, válvulas de seccionamento, pontos altos (ventosas) e pontos baixos (descargas de fundo).

O nó inicial e o nó final possibilitam identificar o sentido de escoamento, sendo também introduzidos automaticamente no sistema pela aplicação DXF2EPA.

Os nós são pontos de ligação entre dois ou mais troços. Assim, será necessário introduzir os seguintes parâmetros no programa Epanet (Rossman, L., 2002):

- ID – Atribuição de um código numérico ao nó (o código atribuído foi N seguido de numeração sequencial unitária);
- Cota – Cota acima de um determinado referencial comum, tomando como profundidade das condutas um metro;
- Consumo-base – Valor médio ou nominal do consumo de água da categoria principal de consumo no nó, medido em unidades correntes de caudal;
- Padrão de consumo – Identificação do padrão temporal utilizado para caracterizar a variação do consumo, com o tempo para a principal categoria de consumo no nó;
- Coeficiente do emissor – Coeficiente de vazão do dispositivo emissor.

Os restantes valores são obtidos pela simulação hidráulica, respectivamente: a carga hidráulica total; altura piezométrica e o caudal.

No que diz respeito às válvulas de retenção, a opção de estado (aberto ou fechado) foi definida como aberto para a generalidade das condutas. No entanto, a montante do RNV, optou-se por colocar um pequeno troço de tubagem, que contém uma válvula de borboleta, de modo a permitir um melhor controlo de escoamento junto ao reservatório.

As condutas são troços que fazem o transporte de água entre dois nós. No EPANET, a caracterização destas é efetuada pelos parâmetros que se seguem (Rossman, L., 2002):

- ID – Atribuição de um código numérico à conduta (o código atribuído foi T seguido de numeração sequencial de 10 em 10);
- Nó inicial – Identificação do nó onde começa a conduta;
- Nó final – Identificação do nó onde termina a conduta;
- Comprimento – Comprimento real da conduta em metros;

- Diâmetro – Diâmetro nominal (DN) da conduta em milímetros;
- Rugosidade – Coeficiente de rugosidade em milímetros;
- Coeficiente de perda de carga singular – Coeficiente de perda de carga singular;
- Estado inicial – Define o estado da conduta (OPEN/CLOSED).

Os restantes valores são o resultado da simulação hidráulica, respetivamente: o fluxo de caudal (litros/segundo), velocidade de escoamento (metros/segundo) e a perda de carga (em cada 1000 metros).

As válvulas são troços que limitam a pressão ou o caudal num ponto particular da rede.

As principais propriedades das válvulas, a introduzir no Epanet são as seguintes (Rossman, L., 2002):

- ID da Válvula – Atribuição de um código numérico à válvula;
- Nó Inicial – Ponto onde começa a válvula;
- Nó Final – Ponto onde termina a válvula;
- Diâmetro – Diâmetro da válvula em milímetros;
- Tipo – Tipo de válvula ;
- Parâmetro de Controlo – Parâmetro necessário para descrever as condições de operação da válvula (PRV – o valor da pressão em metros).

O cálculo da perda de carga contínua verificado no sistema foi efetuado através da fórmula de Hazen-Willm (Coelho, S. T., 2006):

$$h_f = \frac{10.7L}{C^{1.852} D^{4.87}} Q^{1.852}$$

Em que,

h_f - perda de carga ao longo do comprimento da conduta (m);

C - coeficiente de rugosidade de Hazen-Willm (mm);

Q - caudal (m³/s);

D - diâmetro interno da conduta (mm);

L - comprimento da conduta (m).

Além das perdas de carga contínuas fazem ainda parte do sistema as perdas de carga localizadas. Estas ocorrem devido às singularidades da rede, como por exemplo, válvulas e tubagens de diferentes diâmetros, curvas e aparelhos de medida. Assim, considerou-se um acréscimo de 10% das perdas de carga contínuas para compensar, perdas de carga localizadas (Rossman, L., 2002).

4.5.2. ATRIBUTOS DOS ELEMENTOS DA REDE

Para a execução da simulação, o programa Epanet necessita de uma diversidade de dados, sendo os principais (Rossman, L., 2002):

- Tipo de material/equipamento;
- Diâmetro das tubagens;
- Comprimento;
- Cotas topográficas;
- Coeficiente de rugosidade;
- Estimativa do consumo no nó.

Quanto ao tipo de material aplicado a rede em estudo foi preconizada em PEAD, como descrito anteriormente. Devido a tratar-se de um único tipo de material, a definição do mesmo foi inserida na opção de valores por defeito, no menu Projecto, na opção de rugosidade da tubagem.

O coeficiente de rugosidade usado foi de 140, de acordo com recomendado por Rossman, L., 2002, para PEAD.

No que diz respeito aos diâmetros utilizados (DN), estes variam entre 90 e 125 mm. O comprimento da tubagem, cuja unidade é inserida em metros (m) foi calculado automaticamente quando se efetuou a importação da rede de abastecimento do Autocad. Na **Tabela 4.4** apresenta-se a variabilidade de diâmetros aplicados.

Tabela 4.4 – Resumos dos diâmetros aplicados no Sistema de Abastecimento

Troço	Diâmetro (mm)	Comprimento parcial (m)	Comprimento total (m)	Coefficiente de Rugosidade
Tubagem T0	125	886.07	2051.70	140
Tubagem T1	125	15.50		
Tubagem T10	125	10.00		
Tubagem T31	125	366.35		
Tubagem T51	125	560.35		
Tubagem T81	125	50.50		
Tubagem T271	125	162.93	1216.39	
Tubagem T121	110	73.85		
Tubagem T131	110	90.07		
Tubagem T141	110	63.57		
Tubagem T161	110	145.00		
Tubagem T171	110	151.36		
Tubagem T181	110	25.31		
Tubagem T281	110	18.56		
Tubagem T311	110	21.19		
Tubagem T321	110	49.84		
Tubagem T331	110	31.04		
Tubagem T341	110	58.39		
Tubagem T21	110	18.14		
Tubagem T211	110	151.77		
Tubagem T20	110	80.00	529.62	
Tubagem T30	110	50.00		
Tubagem T60	110	89.85		
Tubagem T70	110	13.64		
Tubagem T90	110	18.56		
Tubagem T100	110	32.54		
Tubagem T110	110	33.71		
Tubagem T61	90	114.86		
Tubagem T71	90	43.68		
Tubagem T101	90	18.20		
Tubagem T111	90	57.25		
Tubagem T151	90	29.04		
Tubagem T191	90	22.95		
Tubagem T201	90	23.10		
Tubagem T261	90	65.10		
Tubagem T301	90	37.56		
Tubagem T41	90	40.49		
Tubagem T40	90	37.55		
Tubagem T50	90	9.69		
Tubagem T80	90	30.15		
			2911.64	

As cotas topográficas foram na sua maioria importadas automaticamente para o Epanet. A rede de abastecimento traçada com base no cadastro existente e sobre o levantamento topográfico, permitiu gerar a rede tridimensional. Quando aos elementos do sistema inseridos diretamente no Epanet (RNF e RNV), estes tiveram que ser cotados no menu das propriedades do respetivo elemento.

A estimativa de consumos em cada nó foi efetuada através do método dos coeficientes de utilização (C.U.) admitindo que nesta rede, apenas existe uma categoria de consumo – doméstico. Pelo facto de estarmos perante uma área relativamente reduzida, considerou-se uma uniformidade na distribuição em toda a rede. Assim, admitiu-se um coeficiente de utilização de 1 na rede de distribuição e de 0 no sistema adutor. No entanto, ressalve-se que o local de estudo é um pólo

universitário e possui uma população residente e não residente. Os cálculos inerentes à estimativa de consumo são apresentados no **Anexo III**.

5. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos da aplicação do modelo Epanet, ao sistema de abastecimento de água do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga. Durante a execução do trabalho, procurou-se que todos os dados recolhidos e o respetivo tratamento dos mesmos, fosse o mais rigoroso e real possível. No entanto, devido à localização geográfica de Chianga, o local não foi visitado e os dados foram recolhidos e relatados por interlocutor. Ainda assim, do ponto de vista global, considera-se ter obtido a informação necessária e suficiente para a simulação do sistema de abastecimento pretendida.

Os resultados obtidos nas simulações da solução base e cenários, encontram-se organizados no **Anexo IV**. De acordo com a metodologia seguida no estudo, apresenta-se primeiro a verificação do modelo e posteriormente a exploração do mesmo, segundo a análise hidráulica e a avaliação do desempenho técnico. Os resultados não serão apresentados em função do tempo, pois não se dispõem de dados suficientes para o efetuar. Neste sentido, toda a simulação foi feita com um padrão estático.

Os resultados e respetiva interpretação têm como diretriz, a utilização do modelo para planeamento e apoio à futura exploração do sistema de abastecimento de água, ao Instituto de Investigação Agronómica de Chianga.

5.1. IMPLANTAÇÃO DA SOLUÇÃO BASE

5.1.1. VERIFICAÇÃO DO MODELO

As primeiras tentativas de simulação do modelo não foram bem sucedidas, neste caso o Epanet transmite algumas mensagens que ajudam na resolução dos problemas. Procedeu-se à etapa de verificação do modelo e de todos os seus condicionalismos hidráulicos e de seguida avançou-se com a simulação do modelo.

As principais grandezas que retratam o comportamento hidráulico de um sistema de abastecimento de água, são o caudal e a pressão. Neste sentido, como resultado desta etapa de verificação foram detetadas e corrigidas diversas anomalias, sobretudo agregadas a pressões negativas na rede e a velocidades mais altas do que o normal nas tubagens, que implicaram a análise detalhada e revisão de todos os componentes do modelo.

O relatório de estado processado e gerado pelo Epanet, após a execução da simulação, indica mensagens de erro e aviso. As referidas mensagens estão associadas aos elementos pelo respetivo

código (ID) e localizadas no tempo pela correspondente etapa de cálculo hidráulico. As mensagens de pressões negativas foram divulgadas ao longo de algumas simulações iniciais. Assim, estas mensagens mostram que determinado nó da rede não está a receber caudal, porque as condições do sistema não o permitirem. Nos casos em que o sistema interrompe o transporte em determinados troços, foi apresentada uma mensagem adicional informando que a rede se encontrava desligada.

Todas estas situações de erro, foram resolvidas com base no estudo do comportamento do sistema, detetando-se uma sensibilidade associada à entrada de água no reservatório, que requer cuidados especiais no que se refere à configuração das válvulas altimétricas, que controlam o nível de água nos reservatórios e, simultaneamente, limitam os caudais aduzidos.

Outra situação verificada foi a das ligações entre a conduta de entrada, o reservatório e a conduta de saída. De acordo com Coelho et al. (2006), no modelo deve evitar-se a ligação de mais de uma conduta ao mesmo reservatório, que pode em alguns casos, provocar instabilidade numérica nas malhas fictícias criadas a partir dos reservatórios.

A solução para evitar este tipo de problema passa pela ligação do RNV a uma única conduta fictícia (como se procedeu no modelo de simulação), que se liga ao nó de passagem à mesma cota do terreno. Esta solução é hidraulicamente idêntica, sendo que o caudal que passa na conduta de ligação, em cada momento, é igual à diferença entre o caudal que entra e o caudal que sai do RNV (Coelho, 2006).

5.1.2.SIMULAÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta fase do trabalho, depois de construído o modelo e efetuada a sua verificação, com a conseqüente resolução de alguns erros, que foram descritos em 5.1.1, está reunida toda a informação necessária para a realização da simulação com sucesso.

Como já foi referido a análise do sistema de abastecimento em estudo é estática, pelo que é necessário definir um padrão temporal para os consumos. A inserção de um modelo estático ou dinâmico no Epanet efetua-se na opção de editor de padrão, onde como o nome indica se vai definir qual o padrão de abastecimento (Rossman, L., 2002).

Posteriormente a efetuar-se a simulação com sucesso, há uma série de relatórios em forma de tabela ou gráficos que poderão ser analisados. Irá então proceder-se, nesta fase do trabalho a essa análise, primeiro relativamente ao projeto base simulado e numa fase subsequente à análise dos cenários formulados para otimizar o sistema.

Este sistema de abastecimento, embora de dimensões reduzidas abrange todas as etapas desde a origem até ao fim de sistema de abastecimento, ou seja é constituído por captação, adução, tratamento de água bruta, reserva e distribuição, sendo que o tratamento só foi descrito e não foi objeto de análise.

Descrevem-se os elementos topográficos disponíveis, verifica-se que a conduta adutora transporta a água da lagoa de captação, que está a uma cota de 1686 m para o reservatório de distribuição elevado, cuja cota de terreno é de 1760.82 m. Este reservatório tem uma altura de 10 m, a sua cota de soleira é de 1770.82 m e a cota de altura máxima de água é de 1775.82 m. A rede de distribuição tem início no nó N6, o ponto mais alto da rede localiza-se no nó N201 à cota 1727.51 m e o ponto mais baixo localiza-se no nó N131 à cota 1707.32 m, a sudoeste do Instituto. Assim, haverá uma disponibilidade d energia de cerca de 20 m.c.a. para efetuar a distribuição de água. Na **Figura 5.1** apresenta-se a distribuição altimétrica do sistema de abastecimento.

excede os 60 m.c.a., estes são respetivamente os nós N121 e N131. A zona onde se localizam os nós referidos, será foco de análise, num cenário a ser elaborado à posteriori para otimizar o sistema;

- Não é aceitável grande flutuação de pressões em cada nó do sistema, impondo-se uma variação máxima ao longo do dia de 30 m.c.a.;
- A pressão de serviço em qualquer dispositivo de utilização predial, para o caudal de ponta não deve ser, em regra, inferior a 10 m.c.a. o que, na rede pública e ao nível do arruamento, corresponde aproximadamente a:

$$H = 10 + 4 n$$

Onde:

H é a pressão mínima (m.c.a.) e n o número de pisos acima do solo, incluindo o piso térreo. Em casos especiais, é aceitável uma redução daquela pressão mínima, a definir, caso a caso, em função das características do equipamento.

No presente caso, a pressão mínima será de 18 m.c.a., pois os edifícios a abastecer têm no máximo 2 pisos (incluindo o piso térreo). Constata-se, no entanto que existem dois nós junto ao reservatório de distribuição (N31 e N261), cuja pressão é inferior ao valor referido, na ordem dos 10 m.c.a., mas ressalve-se que estes nós não pertencem à rede de distribuição.

tubagens. Segundo o DR 23/95 de 23 de Agosto, a velocidade máxima não deverá exceder o valor calculado pela expressão:

$$V_{max} = 0.127D^{0.4}$$

Em que D é o diâmetro da tubagem (DN em metros)

Neste sentido, após a análise dos resultados depois da primeira simulação, constatou-se a existência de alguns troços de tubagens, que não estavam a cumprir o critério da velocidade definido, pelo que tiveram que ser aumentados. Os diâmetros usados na rede de distribuição e na adução variam entre 90 a 125 mm. Na **Figura 5.3** apresenta-se a variabilidade de diâmetros utilizados.

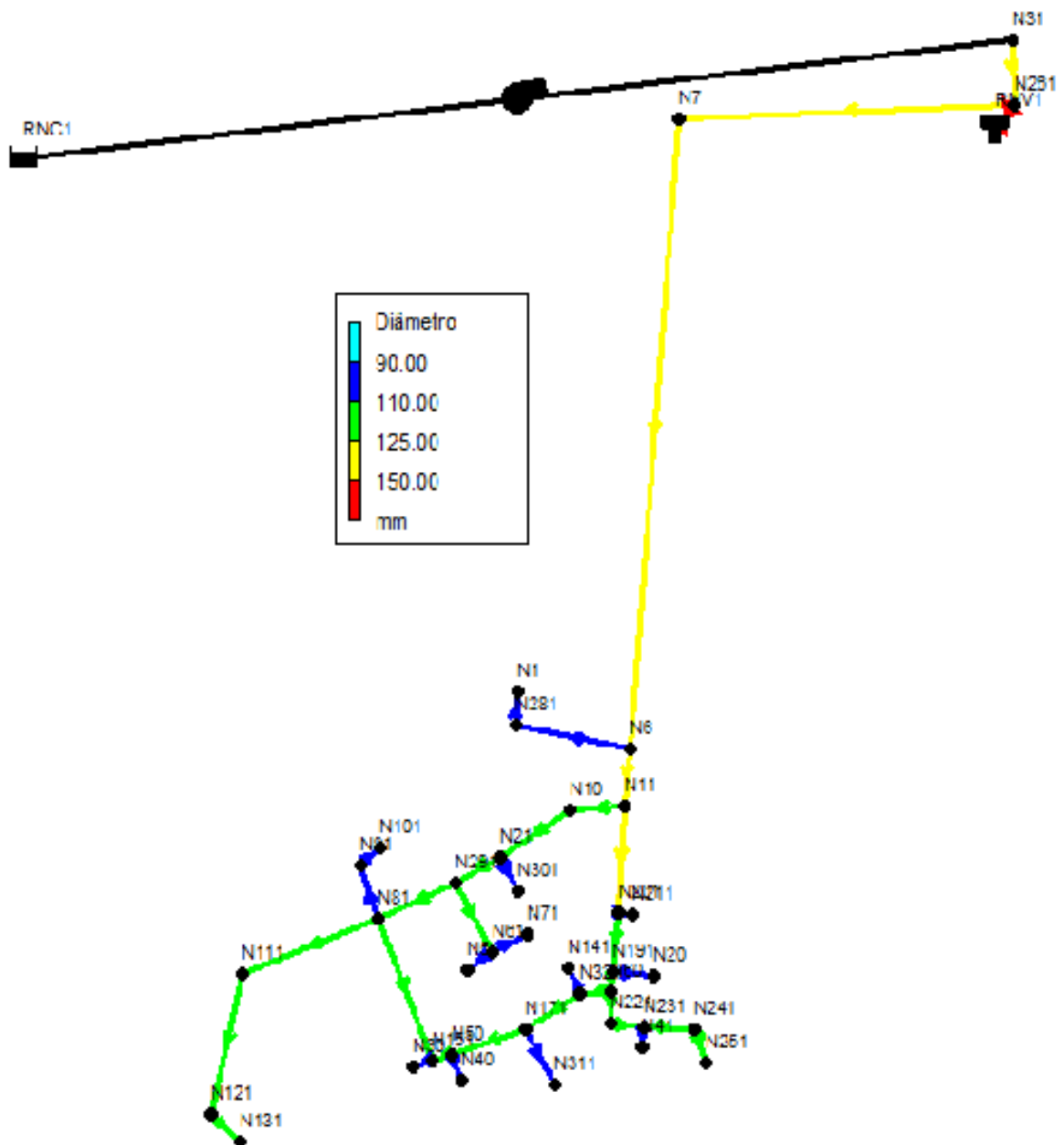


Figura 5.3 – Distribuição dos diâmetros no sistema de abastecimento

Relativamente à velocidade de escoamento, estamos perante uma rede com velocidades muito baixas, inferiores mesmo à velocidade mínima recomendada (0.3 m/s). Este facto, ocorre porque os diâmetros são muito elevados face ao caudal de dimensionamento. A escolha do diâmetro mínimo de 90 mm, deve-se como já foi referido, para possibilitar dotar a rede de combate a incêndio. As redes com baixas velocidade, como é o caso apresentado, proporcionam a deposição de partículas no fundo das tubagens. Para minimizar esta situação deverão prever-se descargas de fundo, para

esvaziamento das condutas periodicamente. Estas descargas situar-se-ão a sul da rede de distribuição, tal como assinalado com círculos na **Figura 5.4**.

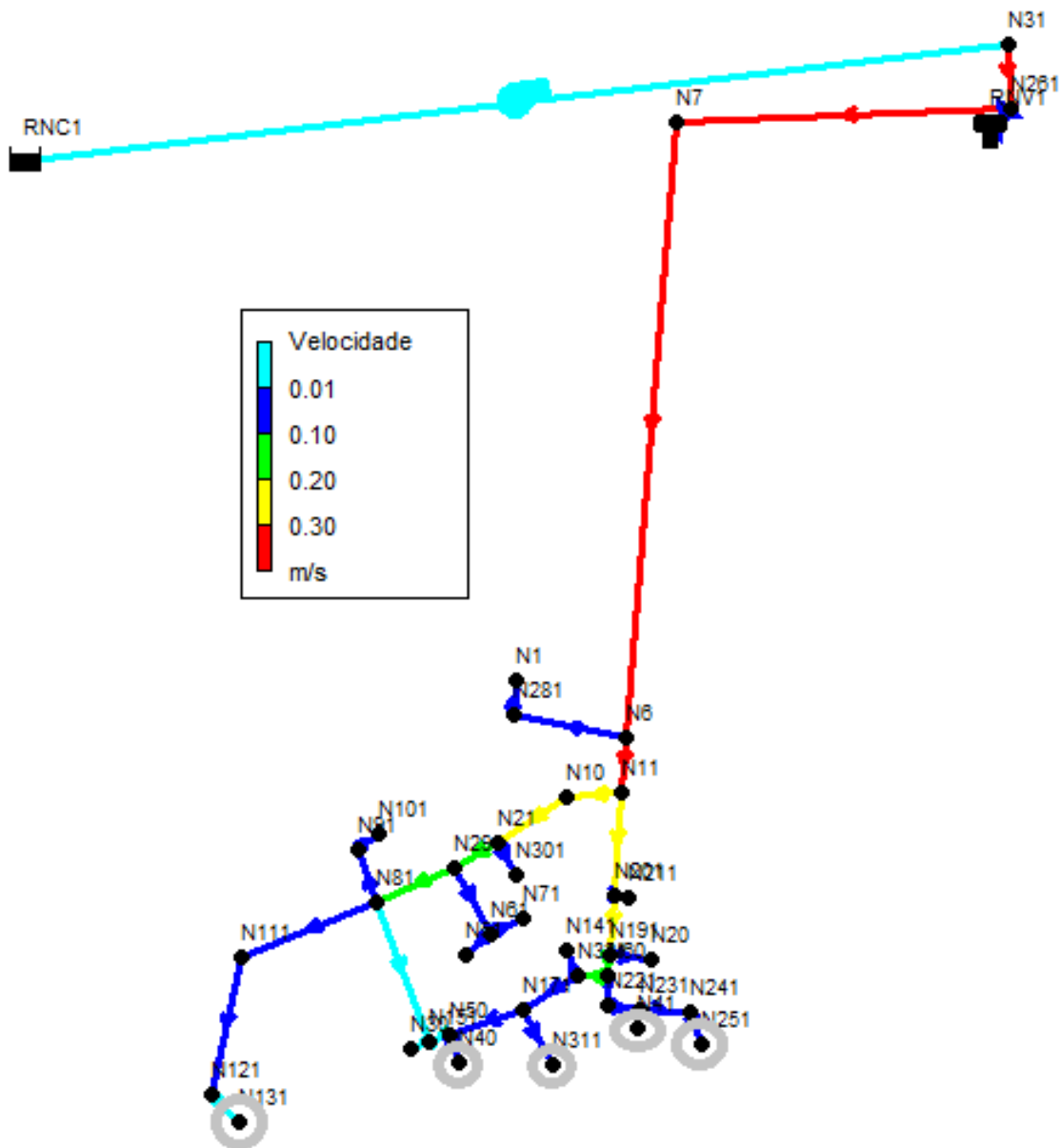


Figura 5.4 – Distribuição da velocidade no sistema de abastecimento

5.2. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

5.2.1. CENÁRIO 1 – VERIFICAÇÃO DE REDE DE INCÊNDIOS

Para a verificação do comportamento da rede, na situação de ocorrência de incêndio foi efetuada uma simulação, com base numa distribuição dos caudais segundo o consumo base para cada nó, já

calculado anteriormente, acrescentando um caudal localizado (de saída) nos nós mais desfavoráveis da rede.

Para assegurar o grau necessário ao combate a incêndio foi efetuado o cálculo de forma a garantir 15 L/s (Grau 1). Na **Figura 5.5** apresenta-se o resultado da simulação efetuada.

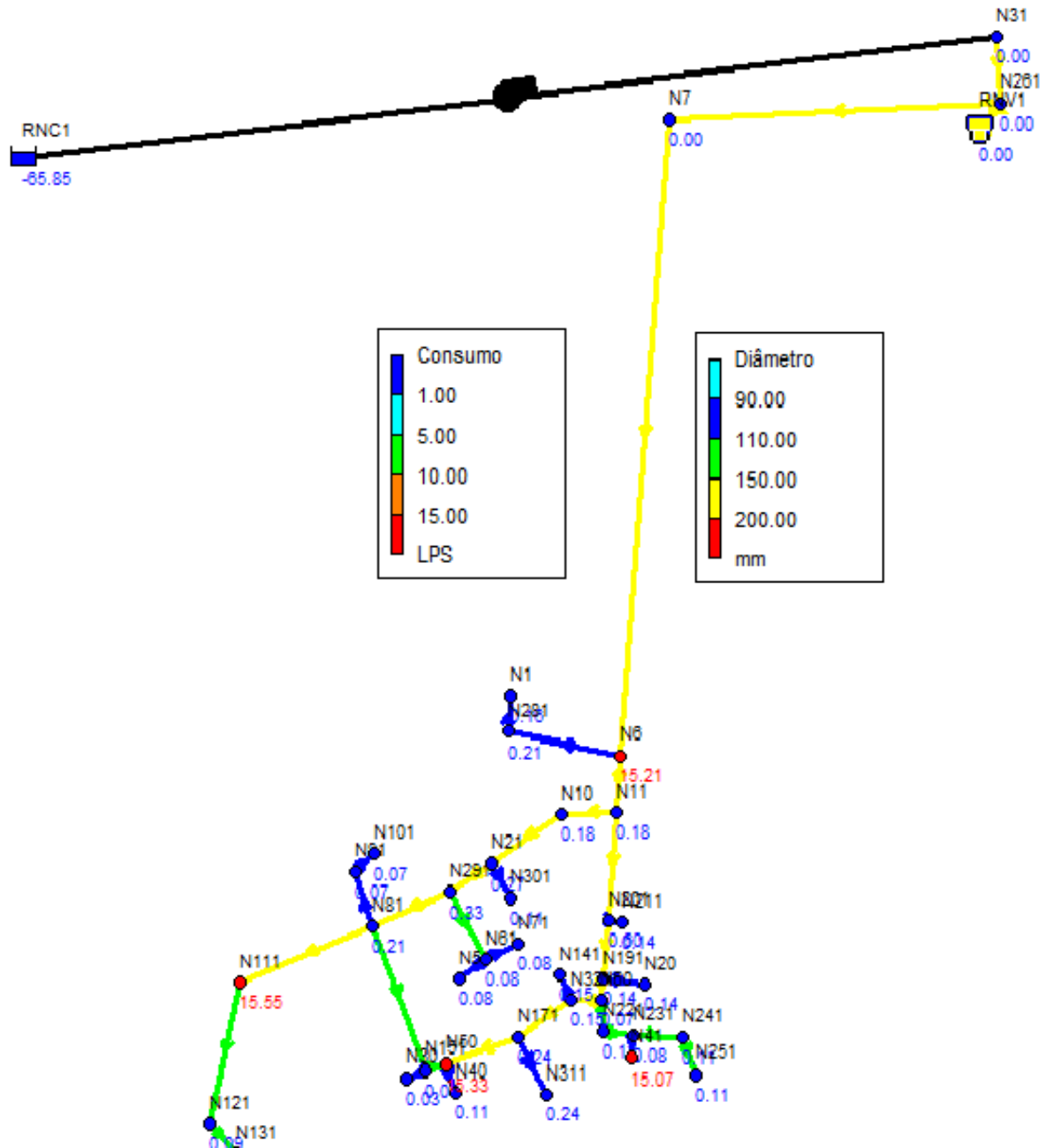


Figura 5.5 – Verificação da Rede de Incêndio

A verificação da rede para a situação de incêndio, conseguiu-se com o aumento de alguns diâmetros, com menores perdas de carga, mantendo-se as condições no reservatório de distribuição. Esta situação pode constatar-se na **Figura 5.5**.

Das simulações efetuadas verificou-se que existem algumas zonas na rede, onde não é possível a instalação de marcos de incêndio, com a capacidade para debitar o caudal necessário. A solução apresentada, será a de instalar um total de quatro marcos de incêndio, distribuídos pelos seguintes nós: N6, N41, N50 e N111, conforme apresentado na **Figura 5.5**.

5.2.2.CENÁRIO 2 – INSTALAÇÃO DE VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO

A elaboração deste cenário surge, na sequência dos problemas identificados nos resultados gerais da rede. Nesta circunstância, pretende-se indicar uma proposta viável para resolver o excesso de pressão registada na rede, através da instalação de VRP.

As válvulas reductoras de pressão têm como função principal reduzir a pressão a jusante de um determinado nó, até um valor pré-definido. Estas introduzem no sistema, uma perda de carga localizada de valor igual à diferença entre a pressão a montante e a jusante da válvula (Grilo, T., 2007).

As VRP's aparecem como uma das alternativas mais eficientes, para a uniformização e o controlo das pressões na rede (**Figura 5.6**). As válvulas, podem ser controladas de modo a funcionarem não apenas para um único valor de pressão. Estas permitem um controlo mais eficiente dos níveis de serviço (Bairos, A. F. A., 2008).

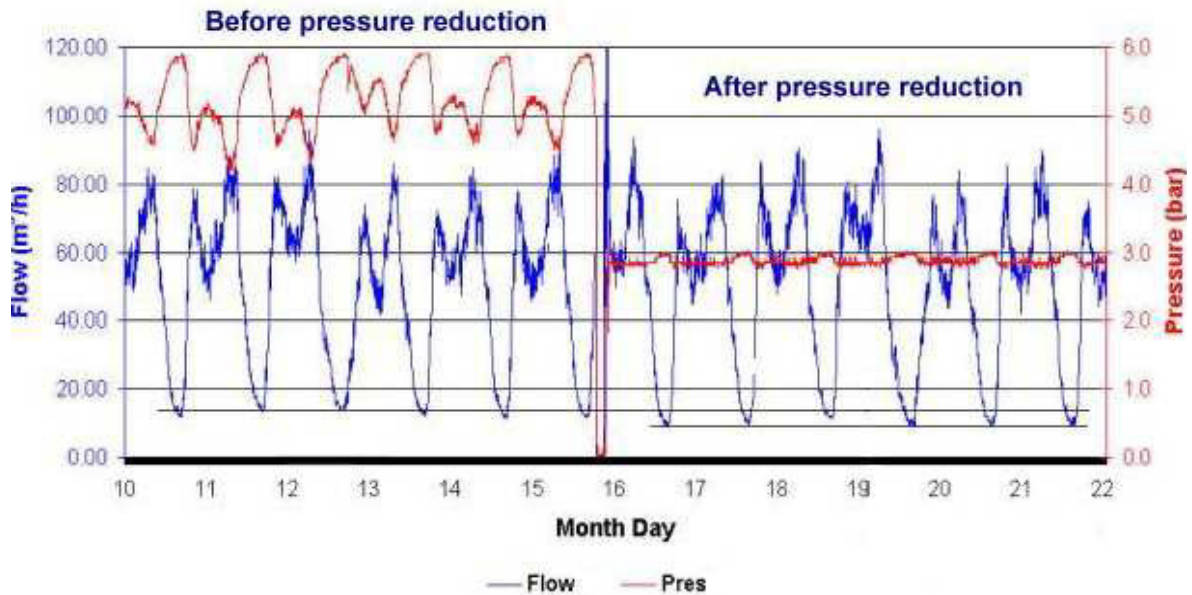


Figura 5.6 - Efeito da utilização de uma VRP no controlo da pressão (Charalambous, 2005)

Na **Figura 5.2**, apresentada anteriormente, indicam-se as pressões de serviço que se registam na rede. Pode verificar-se através desta figura, que os nós N121 e N141, possuem um excesso de pressão (> 60 m.c.a.). As causas para tal registo de pressão, consistem essencialmente devido ao elevado desnível topográfico existente. Neste sentido, para reduzir as pressões da rede propõe-se a instalação de uma VRP a montante do nó N111, pois este nó já tinha uma pressão muito próxima de 60 m.c.a.. Como se preconiza uma VRP nesta zona da rede, a sua introdução terá um efeito um pouco mais abrangente.

Na **Figura 5.7**, apresenta-se a localização da VRP inserida na rede. Através desta figura pode constatar-se uma melhoria significativa, ao nível das pressões verificadas na rede. Assim, com esta proposta alternativa o sistema apresenta-se mais equilibrado e homogéneo ao nível de pressões.

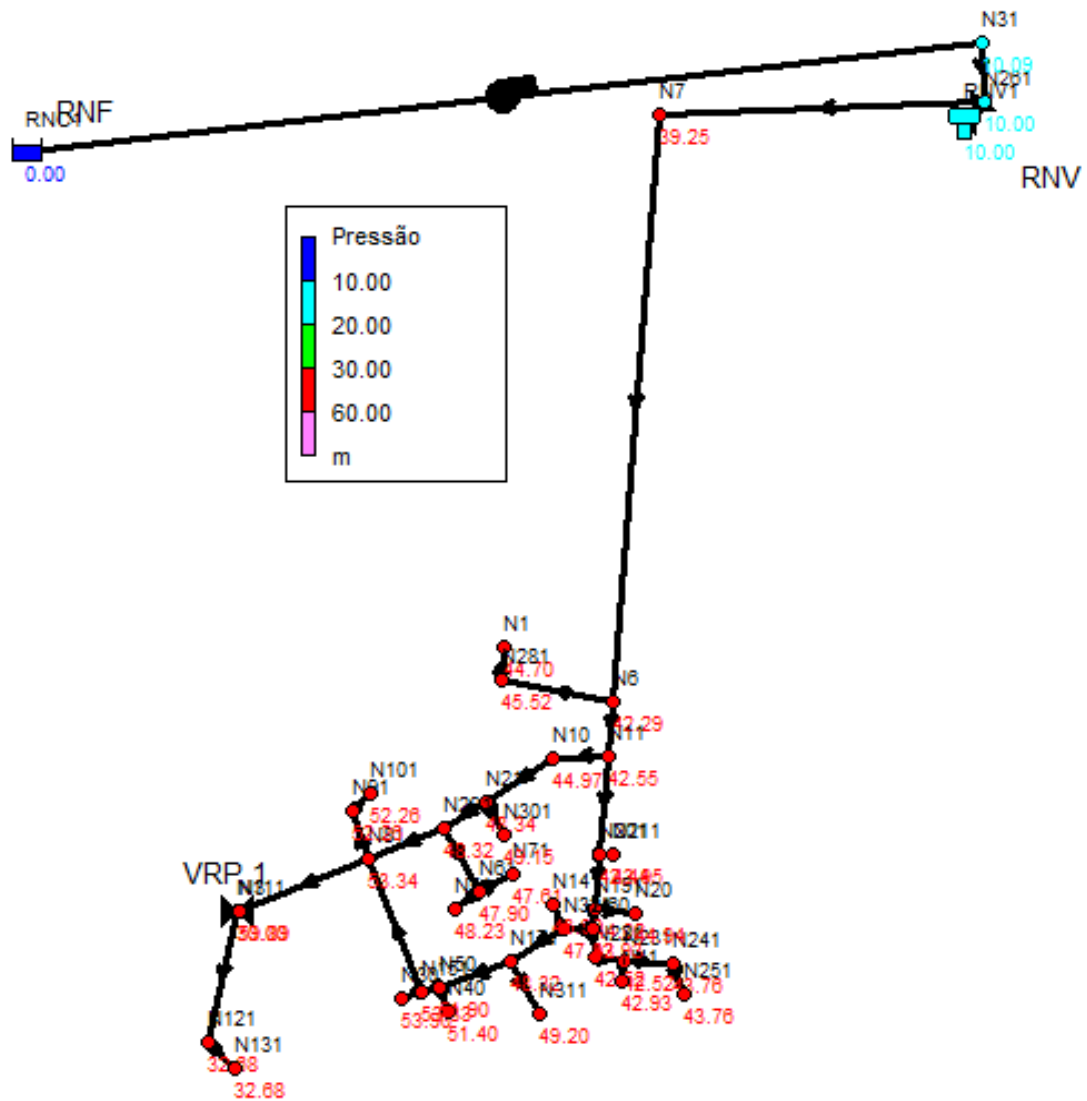


Figura 5.7 – Localização da VRP

A instalação de VRP traz alguns benefícios, que se especificam a seguir (Bairos, A. F.A., 2008):

- Redução do volume perdido através de fugas;
- Redução do consumo relacionado diretamente com a pressão, tais como: lavagem de carros e calçadas, irrigação de jardins;
- Redução da ocorrência de roturas;
- O controlo da pressão diminui a possibilidade de fadiga das condutas, inclusivé nas redes domésticas de abastecimento;

- Contribui para um abastecimento constante à população (grandes variações de pressão ao longo do dia, podem induzir um abastecimento deficiente e pressões desnecessariamente altas)

5.2.3.CENÁRIO 3 – REPARAÇÃO DE UMA CONDUTA

O objetivo de elaborar este cenário será demonstrar a utilidade deste modelo de simulação, para a entidade gestora que irá explorar o sistema de abastecimento. Assim, simula-se um cenário de reparação de uma conduta, situação que certamente poderá ser frequente ao longo do horizonte de projeto do sistema. Através do MSH a entidade gestora poderá ter uma percepção do comportamento do sistema perante o cenário equacionado.

Na **Figura 5.8** apresenta-se parte do sistema da rede, onde se simula que haverá uma futura rotura no troço T341, entre o Nó N171 e N321, assinalado com um círculo cinzento.

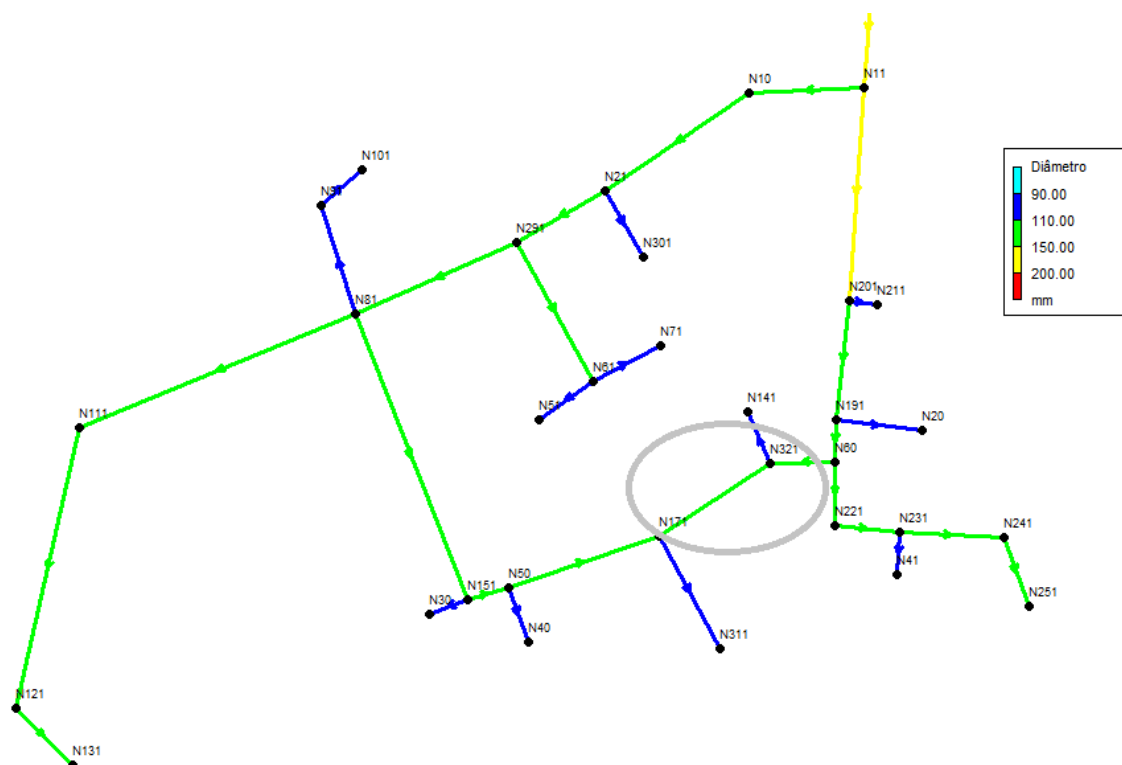


Figura 5.8 – Reparação de Troço T341

A situação verificada neste cenário, poderá surgir quando por exemplo ocorrer um assentamento de pavimento rodoviário, o que provocará uma fissura na conduta no troço T341. Nesta circunstância, com este modelo de simulação rapidamente a entidade gestora poderá proceder à verificação do comportamento do sistema com a interrupção imediata do escoamento na tubagem T341. Com a

referida interrupção poderão analisar-se as alterações na rede, nomeadamente no sentido de escoamento, bem como, os novos valores de caudais e pressões.

Nas **Figura 5.9** e **5.10**, apresenta-se um esquema elucidativo dos nós e tubagens influenciadas diretamente pela reparação da tubagem T341 e respectivo sentido de escoamento.

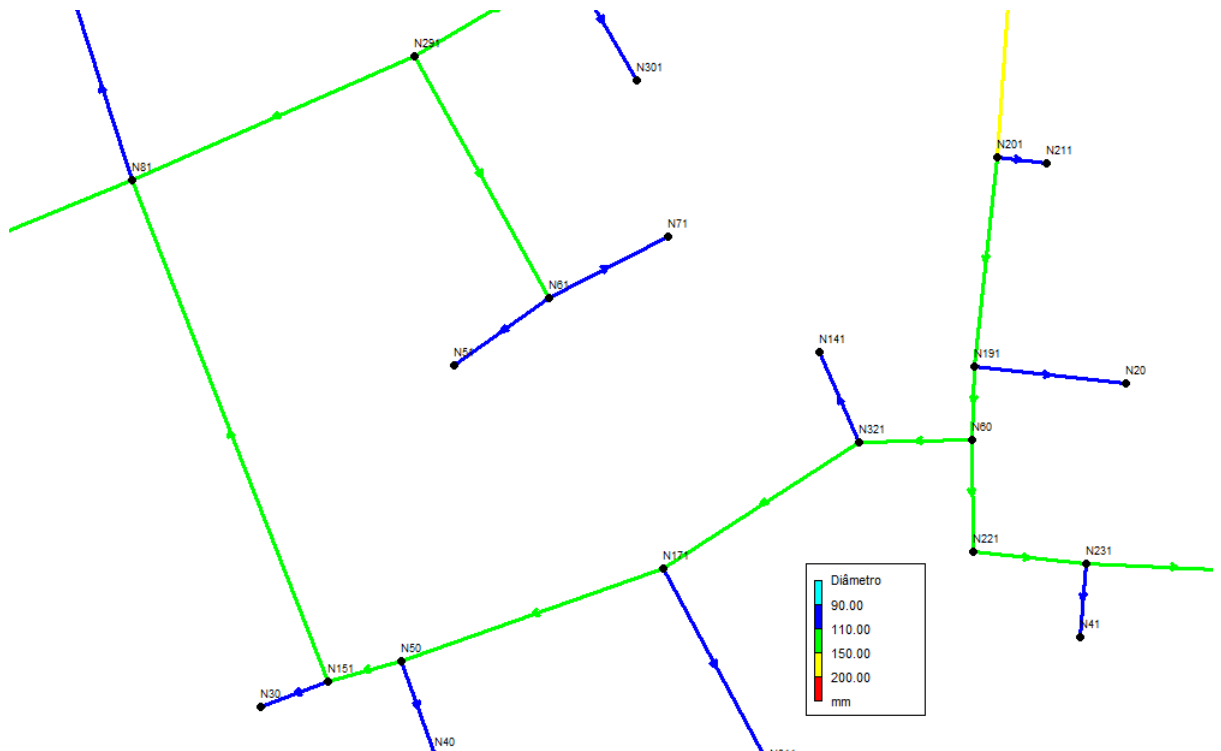


Figura 5.9 – Esquema da tubagem T341 e sentido de escoamento antes da reparação

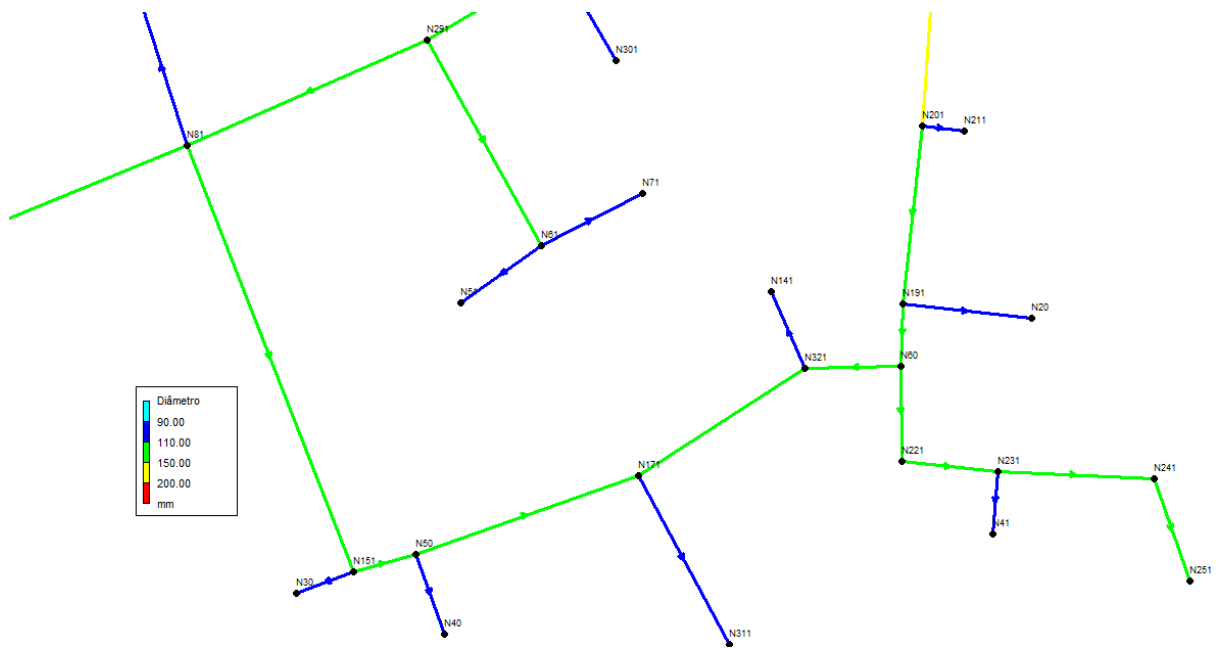


Figura 5.10 – Esquema da tubagem T341 e sentido de escoamento durante a reparação

Observa-se a alteração do sentido de escoamento nas tubagens (T60, entre o nó N50 e N171, T70 entre o nó N151 e N50 e T211 entre o nó N81 e N151) para que de alguma forma o consumo nos nós N171 e N321 sejam satisfeitos.

Nas **Tabelas 5.1** e **5.2** apresentam-se os valores das pressões em cada nó e os consumos em cada tubagem, com a tubagem T341 aberta e fechada, respetivamente.

Tabela 5.1 – Valores de pressão e caudal em cada nó com a tubagem T341 aberta

Nó	Cota (m) m	Consumo l/s	Pressão m
Nó N7	1731.26	0	39.25
Nó N6	1727.74	0.21	42.29
Nó N1	1725.32	0.16	44.7
Nó N11	1727.44	0.18	42.55
Nó N21	1721.59	0.27	48.34
Nó N51	1721.68	0.08	48.23
Nó N61	1722.01	0.08	47.9
Nó N71	1722.3	0.08	47.61
Nó N81	1716.56	0.21	53.34
Nó N91	1717.64	0.07	52.26
Nó N101	1717.64	0.07	52.26
Nó N111	1710	0.55	59.89
Nó N121	1707.32	0.09	62.56
Nó N131	1707.32	0.09	62.56
Nó N151	1716.57	0.05	53.33
Nó N171	1721.59	0.24	48.32
Nó N191	1725.92	0.14	44.02
Nó N201	1727.51	0.6	42.44
Nó N211	1726	0.14	43.95
Nó N221	1727.41	0.12	42.52
Nó N231	1727.41	0.08	42.52
Nó N241	1726.17	0.11	43.76
Nó N251	1726.17	0.11	43.76
Nó N261	1760.82	0	10
Nó N281	1724.5	0.21	45.52
Nó N291	1721.59	0.33	48.32
Nó N301	1720.78	0.11	49.15
Nó N311	1720.7	0.24	49.2
Nó N321	1722	0.15	47.92
Nó N31	1760.82	0	10
Nó N41	1727	0.07	42.93
Nó N141	1723	0.15	46.92
Nó N10	1725	0.18	44.97
Nó N20	1725	0.14	44.94
Nó N30	1716	0.03	53.9
Nó N40	1718.5	0.11	51.4
Nó N50	1718	0.33	51.9
Nó N60	1726	0.07	43.93

Tabela 5.2 – Valores de pressão e caudal em cada nó com a tubagem T341 fechada

Nó	Cota (m) m	Consumo l/s	Pressão m
Nó N7	1731.26	0	39.25
Nó N6	1727.74	0.21	42.29
Nó N1	1725.32	0.16	44.7
Nó N11	1727.44	0.18	42.55
Nó N21	1721.59	0.27	48.25
Nó N51	1721.68	0.08	48.09
Nó N61	1722.01	0.08	47.76
Nó N71	1722.3	0.08	47.47
Nó N81	1716.56	0.21	53.16
Nó N91	1717.64	0.07	52.08
Nó N101	1717.64	0.07	52.08
Nó N111	1710	0.55	59.71
Nó N121	1707.32	0.09	62.39
Nó N131	1707.32	0.09	62.39
Nó N151	1716.57	0.05	53.13
Nó N171	1721.59	0	48.1
Nó N191	1725.92	0.14	44.05
Nó N201	1727.51	0.6	42.47
Nó N211	1726	0.14	43.98
Nó N221	1727.41	0.12	42.56
Nó N231	1727.41	0.08	42.56
Nó N241	1726.17	0.11	43.8
Nó N251	1726.17	0.11	43.8
Nó N261	1760.82	0	10
Nó N281	1724.5	0.21	45.52
Nó N291	1721.59	0.33	48.18
Nó N301	1720.78	0.11	49.06
Nó N311	1720.7	0.24	48.99
Nó N321	1722	0	47.97
Nó N31	1760.82	0	10
Nó N41	1727	0.07	42.97
Nó N141	1723	0.15	46.97
Nó N10	1725	0.18	44.93
Nó N20	1725	0.14	44.97
Nó N30	1716	0.03	53.7
Nó N40	1718.5	0.11	51.2
Nó N50	1718	0.33	51.7
Nó N60	1726	0.07	43.97

Da análise dos resultados verifica-se que não existem problemas ao nível da pressão de serviço a que a rede está sujeita, pois a variação da mesma é mínima. Relativamente aos caudais existem variações, devido à tubagem T341 estar interrompida e em consequência é provocada uma alteração no sentido de escoamento.

5.2.4.CENÁRIO 4 – SUBSTITUIÇÃO DE UMA CONDOTA POR OUTRA DE DIÂMETRO SUPERIOR

Este cenário pretende tal como o cenário 3 evidenciar a importância do MSH para a entidade gestora responsável pelo planeamento, exploração e manutenção do futuro sistema de abastecimento de água a ser construído.

O Instituto de Investigação Agronómica de Chianga tem uma importância relevante no ensino e investigação em Angola, pelo que será espectável o aumento da população e conseqüentemente das necessidades de água para abastecimento. Neste sentido, será importante para a entidade gestora ter a percepção do comportamento da rede se for necessário aumentar o diâmetro da tubagem. O cenário que a seguir se apresenta simula que o Instituto futuramente terá um aumento das necessidades de abastecimento nos troços T51, T61 e T71. Na **Tabela 5.3** apresenta-se as características da tubagem antes do aumento de consumos e na **Tabela 5.4** apresenta-se o aumento de consumo simulado neste cenário, que por consequência vai aumentar a velocidade nos troços em questão. Na **Tabela 5.5** apresentam-se os diâmetros corretos da tubagem, face ao aumento de consumo.

Tabela 5.3 – Características da tubagem antes do aumento de consumo

Conduto	Consumo (L/s)		Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	velocidade máxima	verificação de velocidade
T31	0 (N261)	0 (N7)	366.35	160	0.33	0.97	VEL. CORRETA
T51	0 (N7)	0.21 (N6)	560.35	160	0.33	0.97	VEL. CORRETA
T61	0.21 (N6)	0.21 (N281)	114.86	90	0.06	0.77	VEL. CORRETA
T71	0.21 (N281)	0.16 (N1)	43.68	90	0.06	0.77	VEL. CORRETA

Tabela 5.4 – Características da tubagem depois do aumento de consumo

Conduta	Consumo (L/s)		Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	velocidade máxima	verificação de velocidade
T31	0 (N261)	4.5 (N7)	366.35	160	0.95	0.97	VEL. CORRETA
T51	4.5 (N7)	3.0 (N6)	560.35	160	0.69	0.97	VEL. CORRETA
T61	3.0 (N6)	2.0 (N281)	114.86	90	0.63	0.77	VEL. CORRETA
T71	2.0 (N281)	2.0 (N1)	43.68	90	0.31	0.77	VEL. CORRETA

Tabela 5.5 – Alteração do diâmetro da tubagem depois do aumento de consumos

Conduta	Consumo (L/s)		Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	velocidade máxima	verificação de velocidade
T31	0 (N261)	4.5 (N7)	366.35	200	0.53	1.06	VEL. CORRETA
T51	4.5 (N7)	3.0 (N6)	560.35	160	0.69	0.97	VEL. CORRETA
T61	3.0 (N6)	2.0 (N281)	114.86	90	0.63	0.77	VEL. CORRETA
T71	2.0 (N281)	2.0 (N1)	43.68	90	0.31	0.77	VEL. CORRETA

A alteração do diâmetro da tubagem T31 teve como consequência as seguintes situações:

1. Não houve qualquer alteração no sentido de escoamento;
2. Redistribuição dos caudais pelas tubagens influenciadas diretamente pela tubagem substituída;
3. Redução das pressões em cada nó, em consequência do aumento de caudal nas tubagens.

6. DISCUSSÃO

A utilização de um MSH para o planeamento e gestão de um sistema de abastecimento de água permite a obtenção de resultados técnicos rápidos relativamente ao funcionamento real do sistema. Destaque-se ainda, a contribuição da conceção de um modelo de simulação, em todas as atividades de trabalho inerentes à futura entidade gestora, nomeadamente de planeamento, exploração e manutenção.

Os diversos cenários criados e a respetiva análise de resultados tiveram como base a vertente de planeamento e o apoio ao projeto do sistema de abastecimento em causa. Simularam-se ainda, cenários tendo a perspetiva de apoio a uma fase posterior, em que o sistema já se encontre em exploração. Os cenários simulados incluem:

1. Verificação de uma rede de incêndio;
2. Instalação de válvula redutora de pressão;
3. Reparação de uma conduta;
4. Substituição de uma conduta por outra de diâmetro superior;

A rede de distribuição do sistema foi verificada para funcionar simultaneamente como rede de distribuição/serviço de incêndio, no entanto, constatou-se que não é possível a instalação de todos os marcos de incêndio necessários, segundo o grau de risco atribuído à rede (grau I). Para assegurar, tanto quanto possível, o combate a incêndios em toda a área, preconizou-se a distribuição dos marcos de incêndio com a melhor cobertura possível. Assim, os corpos de bombeiros podem proceder ao abastecimento das suas viaturas de combate a incêndios com um deslocamento mínimo.

Para a otimização da rede de distribuição propõe-se a inserção de dispositivo redutor de pressão, de forma a melhorar o seu desempenho hidráulico, no que se refere aos níveis de pressão no sistema e ao controlo e minimização de perdas físicas de água.

Numa perspetiva de auxílio na futura gestão e exploração do sistema de abastecimento, simulou-se o cenário de reparação de uma conduta existente, situação que poderá ocorrer. Este cenário não apresentará problemas ao correto funcionamento do sistema de abastecimento, provocará apenas uma alteração do sentido de escoamento, nos troços próximos da reparação e uma ligeira alteração de pressão.

Quanto à substituição de uma conduta por outra de diâmetro superior, será um cenário plausível futuramente, se o Instituto for ampliado. Nessa situação, perante os novos consumos a serem verificados em cada nó do sistema, a entidade gestora poderá analisar as condições de escoamento

e decidir se é necessário aumentar o diâmetro das condutas e rapidamente localizar essas necessidades.

Todavia, muitos mais cenários poderiam ter sido gerados, pois através do modelo, é possível em tempo real, ter a percepção das alterações na rede e identificar qual o desenvolvimento de caminhos opcionais para que a água circule. Neste sentido, este MSH constitui-se como uma ferramenta para a determinação das condições de exploração de um sistema, podendo servir de apoio às entidades responsáveis pela gestão de sistemas de abastecimento de água, para simulação de vários cenários, permitindo a antecipação de ações a efetuar. Poderão assim, futuramente formular-se vários cenários, consoante as condições de operacionalidade e as dificuldades constatadas no Instituto de Investigação Agronómica de Chianga, quando o sistema de abastecimento estiver em funcionamento.

A utilização da modelação matemática permitiu uma análise na perspetiva de otimização do sistema de abastecimento ao nível do seu desempenho. No que se refere à análise hidráulica, recorreu-se aos indicadores de caudal, pressão e velocidade de escoamento. Dos resultados obtidos é de salientar, que as maiores pressões se localizam ao longo da conduta onde foi proposta a instalação de uma VRP, para otimização do sistema. O modelo construído possibilita ainda a análise e previsão do comportamento do sistema, para as mais diversas condições operacionais, decorrentes das necessidades atuais e futuras, de modo a garantir fiabilidade do abastecimento.

A vantagem da utilização de modelos de simulação neste tipo de situações é prevenir possíveis problemas na gestão eficiente da água e promover o planeamento de todas as atividades de operação e de manutenção.

No que respeita, às sugestões que advêm da análise do sistema de abastecimento poderão apontar-se os seguintes aspetos:

- Será possível futuramente quando o sistema estiver em exploração, obter uma calibração do modelo de modo à obtenção de resultados mais ajustados às condições de funcionamento;
- Para uma gestão eficaz sugere-se, em fase de exploração, a instalação de caudalímetros em pontos estratégicos da rede, para monitorização de parâmetros importantes no planeamento/gestão do sistema de abastecimento de água. Um dos objetivos será, por certo, a representação fiel de todo o sistema de distribuição obtendo parâmetros em tempo real, desde o sistema de armazenamento, até aos contadores dos utentes.
- A criação de cenários retrata os problemas que irão surgir ao longo da gestão do sistema de abastecimento e possibilitam o conhecimento técnico da rede mais aperfeiçoado. Nesta circunstância, é útil e vantajoso que a entidade gestora analise vários cenários, à medida que os problemas vão surgindo.

- Poderiam criar-se redes distintas, ou seja, uma rede exclusiva para o abastecimento e outra para o combate a incêndio. A rede exclusiva para combate a incêndio, poderia utilizar diretamente água de origem da chuva, ou até de águas de efluentes tratados. Esta solução poderia ser mais correta, pois evitaria por exemplo, todos os custos intrínsecos ao tratamento da água potável e seria simultaneamente uma outra solução a dar aos efluentes tratados das Estações de Tratamento de Águas Residuais, como destino final.
- Poderá construir-se um SIG, que levará a uma melhor caracterização do sistema de abastecimento de água com introdução direta da informação do cadastro, por forma a obter um conhecimento mais integrado e eficiente de toda a informação para melhor gestão e monitorização do sistema.

É de salientar que o desenvolvimento de um modelo de simulação fiável é essencial para a análise da componente hidráulica, sendo uma opção de fundo na conceção e gestão moderna de um sistema de abastecimento de água.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho procedeu-se ao levantamento dos MSH mais utilizados, disponíveis no mercado, e efetuou-se uma comparação entre os mesmos. Os MSH analisados foram: Hidrocad, Epanet, Strumap, Synergee Watercad e INSSAA desenvolvido pelo LNEC, tendo-se evidenciado as potencialidades de cada modelo, através de uma descrição sucinta. Na sequência da descrição e análise comparativa dos referidos modelos conclui-se que o Epanet é o modelo que constitui o melhor compromisso para ser aplicado a um sistema de abastecimento de água.

O caso de estudo apresentado foi importante para a aplicação do MSH ao dimensionamento e gestão de um sistema de abastecimento. A aplicação da metodologia proposta ao caso do Instituto de Investigação Agronómica de Chianga, em Angola, resultou num melhor conhecimento das infra-estruturas a reabilitar e na identificação de fragilidades relativamente à qualidade dos dados existentes.

Conclui-se ainda que, a aplicação do modelo Epanet ao caso de estudo, enquadrado numa região onde há um défice de infraestruturas de abastecimento, tem uma importância acrescida porque:

- É um programa de utilização livre e gratuita;
- É um programa adequado às necessidades dos sistemas de abastecimento e de muito fácil aplicação em sistemas simples, como é caso analisado neste estudo;
- Tem uma utilização universal, existindo fóruns de discussão sobre a matéria, facilitando a partilha de conhecimentos e experiências em qualquer parte do mundo.

De acordo com os objetivos deste trabalho e com a aplicação do MSH Epanet ao caso de estudo, concluiu-se que:

- Face aos valores dos parâmetros hidráulicos (i.e., velocidades muito baixas, perdas de carga reduzidas) e ao facto de estarmos perante um aglomerado populacional reduzido, a rede de abastecimento, encontra-se sobredimensionada para a situação inicial de funcionamento em condições normais. Esta situação decorre de se ter dotado a rede com serviço de incêndio, o que levou à escolha de um diâmetro mínimo de 90 mm. Assim, este diâmetro para os consumos do sistema será exagerado. A principal consequência do sobredimensionamento é o facto de a rede funcionar durante grande parte do tempo com velocidades de escoamento muito baixas, conduzindo a tempos de percurso da água elevados, e a um maior decaimento do cloro residual, aumentando o risco de contaminação. Este aspeto é particularmente

relevante em zonas de extremidade. Este problema poderá ser parcialmente controlado através de descargas periódicas nos trechos terminais;

- A rede de abastecimento apresenta uma variabilidade de diâmetros de 90 a 160 mm, a escolha do diâmetro mínimo teve como objetivo preparar a rede para combate a incêndio. Este critério prevaleceu, embora com as desvantagens da rede ficar sobredimensionada, como descrito anteriormente. Assim, a satisfação dos requisitos de combate a incêndio é determinante no dimensionamento de um sistema público de abastecimento de água principalmente em pequenos núcleos habitacionais, como o agora estudado. Uma vez que, é ela quem mais contribui para a definição dos diâmetros das tubagens e acessórios da rede, bem como faz com que dadas as características topográficas da rede, haja problemas em algumas zonas na satisfação do valor mínimo do caudal de incêndio;
- A análise crítica da rede permitiu identificar as anomalias existentes em termos de pressões. Verificou-se que existem zonas pontuais, que apresentam um excesso de pressão, sendo evidente o potencial de perdas energética e de água nestas zonas. Este facto deve-se à necessidade de satisfazer as exigências de abastecimento em zonas com cotas mais elevadas. Nesta circunstância, criaram-se alternativas/propostas viáveis para solucionar o problema contribuindo, assim para uma melhoria do funcionamento hidráulico de todo o sistema (através da introdução de uma VRP, estrategicamente colocada). Mediante a análise dos resultados alcançados, conclui-se que a utilização de VRP permite obter uma gestão otimizada das pressões na rede, que se traduz numa melhoria significativa dos desempenhos hidráulicos em geral;
- Os resultados obtidos com a criação de cenários permitiram aprofundar o conhecimento técnico da rede, analisando as várias alterações que cada intervenção no sistema provoca e permitindo um planeamento integrado das intervenções simuladas nos cenários (por exemplo, a adaptação da rede de abastecimento para combate a incêndio).

Sugere-se como trabalho futuro, a análise de casos de estudo diferentes, em que os sistemas de abastecimento estejam em exploração por forma a desenvolver outras potencialidades dos MSH, aplicadas a gestão e planeamento de sistema de abastecimento. No desenvolvimento do mesmo caso de estudo, sugere-se ainda a análise do choque hidráulico da conduta elevatória desde a lagoa de captação até ao reservatório apoiado e a análise da qualidade da água (caso se obtenha disponibilidade de mais elementos).

A complexidade habitualmente associada aos sistemas de abastecimento, fundamentam o esforço de aplicar uma ferramenta que traz múltiplos benefícios em quase todas as áreas da gestão técnica dos sistemas. A utilidade de um modelo de simulação, tanto para a correta exploração dos sistemas, na

procura da garantia de satisfação das condições hidráulicas, como para o melhor planeamento das suas expansões e outras intervenções, é claramente evidenciada ao longo deste estudo.

8. BIBLIOGRAFIA

Almeida, M.; Vieira, P.; Ribeiro, R (2006), *Uso Eficiente da Água no Sector Urbano*, Série GUIAS TÉCNICOS nº. 8, LNEC , INAG e IRAR.

Archer, L., Biscaia, J., Ossawald W. E., Ranaud, M. (2001), *Novos Desafios a Bioética*, Porto Editora.

Arenga, M. (2007), *Métodos numéricos Newton – Raphson*, Universidade Autónoma de Lisboa.

Bairos, A. F. A. (2008), *Válvulas de Controlo Automático na Segurança e Gestão Operacional de Sistemas de Abastecimento e Drenagem: o comportamento das VRP*, Instituto Superior Técnico.

Benguela, Z. B., Valente A. M., Dentinho T. P. (2000), *Avaliação contingente para analisara vontade de pagar dos habitantes do Huambo para a melhoria do sistema de abastecimento de água da cidade*.

Beswick, M., Ashmore, P., *PAI Implentation for Utilities based on StruMap*.

Borges, V.M.N.A., (2003), *Acoplamento de um Modelo de Previsão de Demanda de Água a um Modelo Simulador em Tempo Real, um Estudo de Caso: Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo*, Universidade de São Paulo.

Borsoi, Z.M.F. & TORRES, S. D. A., (1997), *A Política de Recursos Hídricos no Brasil*, Editora Epse.

Camacho, A., Oliveira, F., Sousa, R., (2003), *A Aplicação do Modelo de Simulação EPANET no Sistema Regional do Carvoeiro. Águas do Vouga*.

Charalambous, B. (2005) *Effective Pressure Management of District Metered Areas*. Halifax. Canada.

Coelho, S.T., Loureiro, D., Alegre, H. (2007), *A iniciativa nacional para a simulação de sistemas de abastecimento de água (INSSAA)*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Coelho, S.T., Loureiro, D., Alegre, H. (2006), *Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil e Instituto Regulador de Águas e Resíduos.

Covas, C., Monteiro, A.J., Alegre, H., (2008), Modelação e análise de sistemas de abastecimento – Parte II – software de simulação – EPANET 2.0, Curso de gestão e tecnologias de águas e resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Cross, H , ``Analysis of flow in network of conduits of conductors”, Bulletin No. 286, University of Illinois Eng. Experiment station, Ill. David H. Huddleston, Vladimir J. Alarcon, and Wei Chen (2004). `` Water Distribution Network Analysis using Excel”, J. of Hydraulic Engineering, Vol. 130, No. 10, PP 1033-35, 1936

Danina (2004), Guidelines for water conservations and water demand management, Volume 3.

Decreto Regulamentar n.º23/95, Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais, Diário da Republica, I Série-B, 194 Lisboa, 23 de Agosto de 1995.

D.G.R.N. (1991). Manual de Saneamento Básico MSB II - Abastecimento de Água e

Esgoto. Vol. 2, Lisboa.

DQA, Directiva-Quadro da Água, acedido via internet em <http://dqa.inag.pt> a 20 de dezembro de 2012.

Fernandes, S.L.F., et al (2012), Modelling high pressure flow and replacement of pipes in water supply systems in north Portugal, IJST Transactions of Civil Engineering, Vol. 36, No. C1, pp 53-65.

Galvão, C. O., Barbacena, M. M., Machado, E. C. M. N., Lacerda, I. S., (2008), Simulações intensivas de redes de abastecimento de água utilizando o Epanet em grade computacional, VIII Simpósio dos recursos hídricos do nordeste.

Grilo, T. (2007), Técnicas de Reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água, metodologia conceptual e aplicação a casos de estudo, Instituto Superior Técnico de Lisboa.

GLA Advogados (2011). Guia de Investimento – gabinete legal de Angola.

Hoag, L. N.; Weinberg, G. - Pipeline network analysis by eletronic digital computer. Journal american water works association, p. 517-524, 1957.

Hofeley, E., (2009), Working Harbor Reinvestment Strategy Water System Infrastructure Analysis, Portland Water Bureau

Hutchison, E., Wilkins, G. (2006), Perform Spatial Plus in Scottish water.

Iniciativa Nacional para a Simulação de Sistemas de Abastecimento de Água (2003), Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Koppen, W., Das geographische system der klimate. In: Koppen, W.; Geiger, R. (Ed.). Handbuch der Klimatologie. Berlin: 1936. v. 1, p. 1-44, part C.

Kountz, S. (2007), Working Harbor Reinvestment Strategy – Water System Infrastructure Analysis.

Lencastre, A. (1996), Hidráulica geral, Edição do autor, ISBN 972-95859-0-3, Lisboa.

Manual de Utilização do Strumap (2006), Water Services.

MARN. (1991), Manual de Saneamento Básico - Volume 1 Abastecimento de Água e Esgotos, Ministério do Ambiente e Recursos Naturais: Direcção Geral dos Recursos Naturais.

Miller, A., (2005), Merging two GIS Plataforms for utility data in one, ESRI paper UC1619.

Moura, V.M., (2006), Modelação Matemática e Sistema de Informação Geográfica como suporte ao gerenciamento de sistema de abastecimento de água – Subsistema CoopHEMA de Cuiabá / MT / Vilidiana Moraes Moura. Cuiabá, MT 2005, Instituto de Ciências Exatas e da Terra.

MVM, (2003), WaterCad user's guide.

PAM - Programa alimentar mundial (2005), Inquérito sobre Segurança Alimentar e Modos de Vida em Meio Rural no Planalto Central em Angola

Pedgen, C. D.; Shanon, R. E.; Sadowski, R. P. (1995), Introduction to simulation using SIMAN, McGraw-Hill: 2nd ed., NY.

Pinto, A.A.S. (2009), Gestão e monitorização do sistema público de distribuição de água Fafe – Cumieira, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Portal oficial do governo de Angola, acessido via internet em <http://www.governo.gov.ao/> a 14 de novembro de 2011.

Portal da empresa Bentley, acessido via internet em <http://www.bentley.com/pt-BR/Products/WaterCAD/>, 20 de novembro de 2011

Portal da empresa GL-Group, acessido via internet em www.gl-group.com/water a 3 de novembro de 2011

Portal da empresa MVM acessido via internet em www.mvm.co.uk , para consulta de Strumap Office Basied SIG, a 6 de novembro de 2011.

Proclira. (2007). Recursos hídricos e clima módulo 16, Universidade de Évora.

Proplano (2011), Projeto de execução do sistema de abastecimento de água de consumo do Instituto de Investigação Agrária de Chianga, Governo Provincial de Huambo, Angola.

Proplano (2011), Projeto de execução do sistema de abastecimento de água da urbanização do Alto do Lobito, Governo provincial de Benguela, Angola.

Quintela, A.C. (2000), Hidráulica. Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Ramalingam, J., Vera Cruz, C. M., Kukreja, K., Chittoor, J. M., Wu, J. L., Lee, S. W., Baraoidan, M. R., George, M. L., Cohen, M., Hulbert, S., Leach, J. E., and Leung, H. (2003), Candidate resistance genes from rice, barley, and maize and their association with qualitative and quantitative resistance in rice. Mol. Plant-Microbe Interact. 16:14-24.
[up.com/en/is/8680.php](http://www.up.com/en/is/8680.php).

Rego, A. A. C., (2007), Integração de ferramentas SIG para a optimização sistema adutor com recurso ao EPANET, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Rossmann, L., (2002), Epanet 2.0 em Português – Manual do Utilizador. Tradução e Adaptação de D. Loureiro e S.T. Coelho. Manual, LNEC, Lisboa.

Santana, F., Almeida G., Martins S. (1998), Metodologia de avaliação do funcionamento de estações de tratamento de água para abastecimento público, INAG.

Silva, L. A. P. S., Belchior, R., Pedro, D. (2001), Manual CAE, GIPAC, Lda e TICData.

Silva, J. H. F.,(2008), Exploração das potencialidades do programa EPANET na simulação hidráulica de sistemas, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

Silva, R. A., (2009), Gestão e monitorização do sistema público e distribuição de água de Vila Real – Zona do Pisco, Universidade de Trás s Montes e Alto Douro.

Snow, J. (1855). On the mode of communication of cholera. John Churchill. England. Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde. ISSN: 1980-1726.

Vidigal, P. M. (2008), Análise alargada dos parâmetros técnico-hidráulicos e avaliação do desempenho de sistemas de distribuição de água, Universidade de Lisboa Instituto Superior Técnico.

Vieira, P. J. M., Morais, C. (2005). Plano de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento, Instituto Regulador de Águas e Resíduos.

Walski, T. M., Chase, D. V., e Savic, D. A. (2003), *Advanced Water Distribution*

Modeling. Haestad Methods Press, EUA (www.haestad.com).

WWAP (2003), Water for People, Water for Life | Executive Summary, UNESCO

ANEXOS

ANEXO I – CAUDAL DE DIMENSIONAMENTO PARA ABASTECIMENTO DO INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO AGRONÓMICA DE CHIANGA

BASES DE DIMENSIONAMENTO

DEMOGRAFIA

A informação disponibilizada pelo Instituto de Investigação Agronómica de Chianga indicou que a população residente máxima seria de 100 habitantes, a que acresce a presença possível até 1000 de não residentes (trabalhadores e estudantes). Não existe informação relativa a usos específicos de água, seja para consumo humano (ex: refeições em cantinas ou equivalente) seja para outros fins tais como oficinas por exemplo. Parte-se do princípio de que serão reduzidos os gastos com regas de espaços verdes.

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: 220 l/hab.dia

Não residentes: 100 l/hab.dia

Apresenta-se a seguir qual o raciocínio de cálculo para chegar ao caudal de dimensionamento da rede.

Caudal médio anual (Q_{mda})

$$Q_{mda} (m^3 / dia) = hab \times capitação$$

Fator de Ponta

$$fp = 2 + \frac{70}{\sqrt{P}}$$

Caudal de ponta doméstico (Q_p)

$$Q_p (l / s) = Q_{mda} \times fp$$

Caudal instantâneo para combate a incêndio (QSI)

De acordo com o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais em situação de incêndio, o caudal a ser fornecido, numa área correspondente a um grau de risco 1, é de:

$$QSI = 15 \text{ l/s}$$

A **Tabela A I.1** apresenta os resultados para chegar ao caudal de dimensionamento.

Tabela AI.1 – Resultados de dimensionamento da rede de distribuição

População Residente (hab)	100
População não Residente (hab)	1000
Capitação (pop. Perm.) (l/hab dia)	220
Capitação (pop. Flut.) (l/hab dia)	100
Qma(perm) (m ³ /dia)	22
Qma (flut.) (m ³ /dia)	100
fp (perm.)	9
fp (flut.)	4.21
Qma (perm) (m ³ /dia)	198
Qma (flut.) (m ³ /dia)	421.36
Qp (perm.) (l/s)	2.29
Qp (flut.) (l/s)	4.88
Qp (total) (l/s)	7.17

**ANEXO II - ANÁLISES DE ÁGUA DA LAGOA DE CAPTAÇÃO PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO
AO INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO AGRONÓMICA DE CHIANGA**

ANEXO III – ESTIMATIVA DE CONSUMOS EFETUADA ATRAVÉS DO MÉTODO DOS COEFICIENTES DE UTILIZAÇÃO (C.U.) PARA O DO INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO AGRONÓMICA DE CHIANGA

ESTIMATIVA DE CONSUMOS

A estimativa de consumos foi efectuada através do método dos coeficientes de utilização. Considerou-se que todos os edifícios inseridos na rede de distribuição teriam o mesmo coeficiente de distribuição de 1. Os restantes troços onde não existem consumos têm um coeficiente de distribuição de 0. A tabela AIII.1 apresenta os resultados da estimativa de consumos efectuados.

Tabela AIII.1 – Estimativa de consumos

Troços	Nós		Comprimento (m)	Cu	Comprim. Ponderado (m)	Peso do nó	Consumo Troço (l/s)
T31	N261	N7	366.35	0	0	0.000	0.00
T51	N7	N6	560.35	0	0	0.000	0.00
T61	N6	N281	114.86	1	114.86	0.059	0.42
T71	N281	N1	43.68	1	43.68	0.022	0.16
T81	N6	N11	50.5	1	50.5	0.026	0.18
T101	N91	N101	18.2	1	18.2	0.009	0.07
T111	N91	N81	57.25	1	57.25	0.029	0.21
T121	N21	N291	73.85	1	73.85	0.038	0.27
T131	N291	N81	90.07	1	90.07	0.046	0.33
T141	N291	N61	63.57	1	63.57	0.032	0.23
T151	N21	N301	29.04	1	29.04	0.015	0.11
T161	N81	N111	145	1	145	0.074	0.53
T171	N111	N121	151.36	1	151.36	0.077	0.55
T181	N121	N131	25.31	1	25.31	0.013	0.09
T191	N61	N71	22.95	1	22.95	0.012	0.08
T201	N61	N51	23.1	1	23.1	0.012	0.08
T261	N171	N311	65.1	1	65.1	0.033	0.24
T271	N11	N201	162.93	1	162.93	0.083	0.60
T281	N201	N191	18.56	1	18.56	0.009	0.07
T301	N201	N211	37.56	1	37.56	0.019	0.14
T311	N221	N231	21.19	1	21.19	0.011	0.08
T321	N231	N241	49.84	1	49.84	0.025	0.18
T331	N241	N251	31.04	1	31.04	0.016	0.11
T341	N171	N321	58.39	1	58.39	0.030	0.21
T1	N31	N261	15.5	0	0	0.000	0.00
T21	N231	N41	18.14	1	18.14	0.009	0.07
T41	N321	N141	40.49	1	40.49	0.021	0.15
T211	N81	N151	151.77	1	151.77	0.077	0.56
T20	N21	N10	80	1	80	0.041	0.29
T30	N10	N11	50	1	50	0.026	0.18
T40	N20	N191	37.55	1	37.55	0.019	0.14
T50	N151	N30	9.69	1	9.69	0.005	0.04
T60	N171	N50	89.85	1	89.85	0.046	0.33
T70	N50	N151	13.64	1	13.64	0.007	0.05
T80	N50	N40	30.15	1	30.15	0.015	0.11
T90	N191	N60	18.56	1	18.56	0.009	0.07
T100	N60	N221	32.54	1	32.54	0.017	0.12
T110	N60	N321	33.71	1	33.71	0.017	0.12
T10	RNV1	N261	10	0	0	0.000	0.00
			2911.64		1959.44		7.17

ANEXO IV – RESULTADOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO

RESULTADOS DE SIMULAÇÃO BASE

A **tabela AIV.1** apresenta os resultados de simulação base para as condutas do sistema de abastecimento. As condutas do sistema de abastecimento e seus respectivos diâmetros foram dimensionadas para que a velocidade máxima não exceda o seguinte:

$$V_{\max} = 0,127 D^{0,4}.$$

Tabela AIV.1 – Resultados do modelo de simulação base - Condutas

Troço	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	velocidade máxima (m/s)	
Tubagem T31	366.35	125	0.48	0.88	Velocidade. Correta
Tubagem T51	560.35	125	0.48	0.88	Velocidade. Correta
Tubagem T61	114.86	90	0.06	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T71	43.68	90	0.03	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T81	50.5	125	0.43	0.88	Velocidade. Correta
Tubagem T101	18.2	90	0.01	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T111	57.25	90	0.02	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T121	73.85	110	0.18	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T131	90.07	110	0.12	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T141	63.57	110	0.03	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T151	29.04	90	0.02	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T161	145	110	0.08	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T171	151.36	110	0.02	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T181	25.31	110	0.01	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T191	22.95	90	0.01	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T201	23.1	90	0.01	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T261	65.1	90	0.04	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T271	162.93	125	0.23	0.88	Velocidade. Correta
Tubagem T281	18.56	110	0.22	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T301	37.56	90	0.02	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T311	21.19	110	0.04	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T321	49.84	110	0.02	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T331	31.04	110	0.01	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T341	58.39	110	0.1	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T1	15.5	125	0.71	0.88	Velocidade. Correta
Tubagem T21	18.14	90	0.01	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T41	40.49	90	0.02	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T211	151.77	110	0.01	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T20	80	110	0.22	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T30	50	110	0.24	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T40	37.55	90	0.02	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T50	9.69	90	0	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T60	89.85	110	0.05	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T70	13.64	110	0	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T80	30.15	90	0.02	0.77	Velocidade. Correta
Tubagem T90	18.56	110	0.19	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T100	32.54	110	0.05	0.83	Velocidade. Correta
Tubagem T110	33.71	110	0.13	0.83	Velocidade. Correta

RESULTADOS DO CENÁRIO 1

Tabela AIV.3 – Resultados do Cenário 1 - Conduatas

Troço	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)
T31	366.35	160	3.73
T51	560.35	160	3.73
T61	114.86	90	0.06
T71	43.68	90	0.03
T81	50.5	160	2.84
T101	18.2	90	0.01
T111	57.25	90	0.02
T121	73.85	160	1.24
T131	90.07	160	1.21
T141	63.57	110	0.03
T151	29.04	90	0.02
T161	145	160	0.89
T171	151.36	110	0.02
T181	25.31	110	0.01
T191	22.95	90	0.01
T201	23.1	90	0.01
T261	65.1	90	0.04
T271	162.93	160	1.56
T281	18.56	160	1.52
T301	37.56	90	0.02
T311	21.19	110	1.62
T321	49.84	110	0.02
T331	31.04	110	0.01
T341	58.39	160	0.61
T1	15.5	160	3.73
T21	18.14	90	0.02
T41	40.49	110	0.56
T211	151.77	160	1.26
T20	80	160	1.27
T30	50	90	0.02
T40	37.55	90	0
T50	9.69	160	0.58
T60	89.85	110	0.55
T70	13.64	90	0.02
T80	30.15	160	1.5
T90	18.56	110	1.63
T100	32.54	160	0.62
T110	33.71	110	0.13

