

# **EXPLORAÇÃO DAS POTENCIALIDADES DO PROGRAMA EPANET NA SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

**JOSÉ HENRIQUE FERREIRA DA SILVA**

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA**

---

Orientador: Professor Doutor Mário Valente Neves

JUNHO DE 2008

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Mário Valente Neves pela orientação, compreensão e ajuda no desenvolvimento deste projecto de investigação.



## **RESUMO**

A realização de simulações ou modelações do funcionamento de sistemas hidráulicos tem conhecido na última década avanços significativos, em particular, o estudo dos sistemas de transporte e abastecimento de água a aglomerados populacionais. São avanços ao nível informático, onde os programas disponíveis no mercado e em comunidades mais centradas em determinadas matérias foram desenvolvidos e aperfeiçoados com base em dados recolhidos de situações reais aliados ao desenvolvimento da linguagem de programação.

O EPANET, como simulador de cálculo automático de redes de transporte e distribuição de água, foi o software escolhido para o desenvolvimento deste trabalho apesar de ainda conter algumas falhas, nomeadamente no campo da georreferenciação, pois apresenta um grande potencial para poder vir a ser um dos mais utilizados na gestão e no planeamento desses sistemas hidráulicos. Assim, este trabalho de investigação foi desenvolvido de forma a explorar as potencialidades deste programa, nomeadamente através da concretização de alguns dos casos descritos no capítulo 12 (questões frequentes) do seu manual, colmatando assim uma pequena lacuna deste instrumento escrito, bem como apontar soluções e criando exemplos práticos da interação com outros programas como o Autocad<sup>®</sup> e o Microsoft<sup>®</sup> Excel, otimizando esta ferramenta para diferentes situações de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** EPANET, simulação hidráulica, ficheiros CAD, qualidade da água, bomba.



## **ABSTRACT**

The accomplishment of simulations or modelings of the functioning of hydraulic systems has known in the last decade significant advances, in particular, the study of the systems of carriage and supply of water to populated areas. Those advances are at the computer science level, in which the available programmes in the market, and in communities more focused in specific matters, were developed and improved based upon data collected from real situations combined with the development of the programming language.

EPANET, as an automatic computation simulator of water carriage and supply, was the software selected for the development of this work, although it still has some failures namely concerning georeference, since it offers a great potential to become one of the most used in the management and planning of those hydraulic systems. Thus this research work was developed so as to explore the potentialities of this programme, namely through the formulation of some of the cases described in chapter 12 (frequent issues) of its handbook, filling thus a gap of this written instrument, as well as suggesting solutions and creating practical examples of interaction with other programmes such as Autocad® and Microsoft® Excel, enhancing this tool for different case studies.

**KEYWORDS:** EPANET, water simulation, CAD files, water quality, pump.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1. DESCRIÇÃO DOS OBJECTIVOS</b> .....	1
<b>1.2. BREVE INTRODUÇÃO AO SOFTWARE EPANET</b> .....	1
1.2.1. DEFINIÇÃO .....	1
1.2.2. CAPACIDADES .....	2
1.2.3. LIMITAÇÕES .....	2
1.2.4. SOFTWARE UTILIZADO E REQUISITOS .....	2
1.2.4.1. Sistema Operativo .....	2
1.2.4.2. EPANET .....	2
<b>1.3. ELEMENTOS DE BASE PARA ESTUDOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA</b> .....	3
1.3.1. ANÁLISE DEMOGRÁFICA .....	3
1.3.2. PREVISÃO DO CONSUMOS DOMÉSTICOS E TOTAIS .....	4
1.3.3. DIMENSIONAMENTO DA REDE .....	4
<b>2. METODOLOGIA E SIMULAÇÃO</b> .....	9
<b>2.1. CONFIGURAÇÃO DE UM PROJECTO NO EPANET</b> .....	9
2.1.1. ESCOLHA DE CENÁRIO E DEFINIÇÃO DAS OPÇÕES .....	9
2.1.2. TRAÇADO DA REDE E PROPRIEDADES DOS OBJECTOS .....	11
<b>2.2. SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS</b> .....	12
2.2.1. SIMULAÇÃO ESTÁTICA E ANÁLISE PRELIMINAR DOS RESULTADOS .....	12
2.2.2. SIMULAÇÃO DINÂMICA E ANÁLISE PRELIMINAR DOS RESULTADOS .....	13
2.2.3. VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS .....	14
2.2.3.1. Tabelas .....	14
2.2.3.2. Gráficos .....	14
2.2.3.3. Opção Consulta .....	15
<b>2.3. VISUALIZAÇÃO DE IMAGENS DE FUNDO</b> .....	15

<b>3. INTERACTIVIDADE / EXTENSÕES</b> .....	17
<b>3.1. IMPORTAÇÃO DE UMA REDE DESENHADA A PARTIR DE PROGRAMAS CAD OU GIS</b> .....	17
3.1.1. ARCVIEW.....	17
3.1.1.1. Introdução e Configuração de Valores.....	17
3.1.1.2. Introdução de Ficheiros CAD e Configuração das Propriedades .....	18
3.1.1.3. Importação da Rede .....	20
3.1.1.4. Transformação de Coordenadas.....	21
3.1.1.5. Verificar a Conectividade da Rede .....	21
3.1.1.6. Adicionar Imagem de Fundo ao Cenário.....	22
3.1.1.7. Exportação Para o EPANET .....	23
3.1.2. DXF2EPA.....	23
3.1.3. EASYNETCAD .....	25
<b>3.2. UTILITÁRIOS</b> .....	28
3.2.1. EPANET Z.....	28
3.2.2. EPANET MSX.....	29
3.2.3. EPAGEO .....	36
3.2.4. EPAMOVE .....	37
3.2.3. EPAROTATE .....	38
<b>4. ALGUNS CASOS ESPECIAIS</b> .....	39
<b>4.1. COMO ANALISAR AS CONDIÇÕES DE COMBATE A INCÊNDIO NUM NÓ PARTICULAR</b> .....	39
<b>4.2. MODELAÇÃO DE ENTRADA DE ÁGUA NUM RESERVATÓRIO A COTA FIXA</b> .....	40
<b>4.3. INTRODUÇÃO DE BOMBAS HIDRÁULICAS</b> .....	41
<b>4.4. CONSUMO DE ENERGIA ELÉCTRICA</b> .....	43
<b>4.5. COMO DIMENSIONAR UMA BOMBA PARA UM CAUDAL ESPECIFICO</b> .....	44
<b>4.6. COMO DIMENSIONAR UMA BOMBA PARA UMA ALTURA DE ELEVAÇÃO ESPECIFICA</b> .....	45
<b>4.7. COMO MODELAR A BOMBAGEM DE CAUDAL A PARTIR DE UM POÇO</b> .....	46
<b>4.8. COMO MODELAR UM RESERVATÓRIO HIDROPNEUMÁTICO</b> .....	47
<b>4.9. QUALIDADE DA ÁGUA</b> .....	47
4.9.1. IDADE DA ÁGUA.....	47
4.9.2. DECAIMENTO E TRANSPORTE DO CLORO.....	48

<b>4.10. COMO MODELAR UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO ADICIONAL PARA REFORÇO DOS NÍVEIS DE CLORO NA REDE</b> .....	50
4.10.1. FIXAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO .....	50
4.10.2. REFORÇO DA CONCENTRAÇÃO .....	50
<b>4.11. COMANDO DO SISTEMA</b> .....	51
<b>5. SÍNTESE E CONCLUSÕES</b> .....	55



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Quadro do Método dos Coeficientes de Utilização .....	5
Fig. 2 – Opções por defeito no EPANET .....	10
Fig. 3 – Opções de visualização no EPANET .....	10
Fig. 4 – Dimensões do mapa no EPANET .....	10
Fig. 5 – Esquema da rede .....	11
Fig. 6 – Editor da Curva da Bomba .....	12
Fig. 7 – Opções de tempo .....	13
Fig. 8 – Editor do Padrão Temporal e Opções Hidráulicas.....	13
Fig. 9 – Tabela de resultados para uma Simulação Estática.....	14
Fig. 10 – Gráfico de série temporal no Nó 6 .....	14
Fig. 11 – Consulta a troços com velocidade inferior a 0,4 m/s .....	15
Fig. 12 – Introdução de imagem de fundo .....	16
Fig. 13 – Menu de extensões e cenários no ArcView .....	17
Fig. 14 – Configuração dos símbolos para os nós e tubos.....	18
Fig. 15 – Configuração dos valores do projecto.....	18
Fig. 16 – Ficheiro CAD adicionado ao cenário.....	19
Fig. 17 – Aspecto do cenário após alteração das propriedades do tema.....	19
Fig. 18 – Janelas de opção de importação de ficheiros CAD .....	20
Fig. 19 – Conectividade da rede importada .....	21
Fig. 20 – Importação de imagens de fundo.....	22
Fig. 21 – Exportação da rede para o EPANET com fundos diferentes.....	23
Fig. 22 – Utilização do DXF2EPA (1) .....	24
Fig. 23 – Utilização do DXF2EPA (2) .....	24
Fig. 24 – Importação do ficheiro INP criado pelo DXF2EPA .....	24
Fig. 25 – Pré-processamento no EasyNETCAD .....	25
Fig. 26 – Criação de arquivo no EasyNETCAD .....	25
Fig. 27 – Escolha de <i>layers</i> e <i>labels</i> no Easy NETCAD.....	26
Fig. 28 – Execução do EasyNETCAD.....	26
Fig. 29 – Visualização de resultados no EasyNETCAD.....	27
Fig. 30 – Importação do ficheiro *.inp no EPANET .....	27
Fig. 31 – Menu EPANET-Z.....	28

Fig. 32 – Exemplo de rede de abastecimento (FEUP) .....	28
Fig. 33 – Exemplo de reacções químicas na água .....	29
Fig. 34 – Rede exemplo para simulação do EPANET-MSX .....	29
Fig. 35 – Conteúdo do ficheiro <i>cenário_msx_001.inp</i> .....	30
Fig. 36 – Conteúdo do ficheiro <i>cenário_msx_001.msx</i> (parte 1) .....	31
Fig. 37 – Conteúdo do ficheiro <i>cenário_msx_001.msx</i> (parte 2) .....	32
Fig. 38 – Linha de comando em DOS para execução do EPANET-MSX .....	32
Fig. 39 – Resultados da simulação através do EPANET-MSX .....	34
Fig. 40 – Interface gráfico para o EPANET-MSX .....	35
Fig. 41 – Simulação bem sucedida no EPANET-MSX .....	35
Fig. 42 – Introdução de dados no EPAGEO .....	36
Fig. 43 – Introdução de dados no EPAMOVE .....	37
Fig. 44 – Resultados da transformação no EPAMOVE .....	37
Fig. 45 – Introdução de dados no EPAROTATE .....	38
Fig. 46 – Resultados da transformação no EPAROTATE .....	38
Fig. 47 – Pressão disponível no Nó 2 para Combate a Incêndio .....	39
Fig. 48 – Caudal disponível no Nó 2 para Combate a Incêndio .....	40
Fig. 49 – Entrada num reservatório a cota fixa .....	40
Fig. 50 – Esquema da rede com bomba hidráulica .....	41
Fig. 51 – Curva da Bomba 1 .....	42
Fig. 52 – Tabela de resultados nos nós para entrada de água a cota fixa .....	42
Fig. 53 – Tabela de resultados nos troços para entrada de água a cota fixa .....	42
Fig. 54 – Relatório de energia (tabela) .....	43
Fig. 55 – Relatório de energia (gráfico) .....	43
Fig. 56 – Pressões negativas nos nós .....	44
Fig. 57 – Altura de elevação nos nós .....	44
Fig. 58 – Caudal através de Válvula de Perda de Carga Fixa .....	45
Fig. 59 – Simulação com bomba .....	45
Fig. 60 – Esquema da rede para simulação dinâmica de bombagem a partir de um poço .....	46
Fig. 61 – Resultado no RNF1 da simulação de bombagem a partir de um poço .....	46
Fig. 62 – Modelação de um reservatório hidropneumático .....	47
Fig. 63 – Variação da Idade da Água no RNV para 72 horas .....	48
Fig. 64 – Variação da Idade da Água no RNV para 240 horas .....	48

Fig. 65 – Configuração das opções para simulação da Qualidade da Água .....	49
Fig. 66 – Resultados da simulação para análise ao Cloro.....	49
Fig. 67 – Estação de tratamento adicional no Nó 1 .....	50
Fig. 68 – Esquema da rede para simulação com comandos .....	52
Fig. 69 – Edição de comandos com condições múltiplas .....	52
Fig. 70 – Edição de opções para análise temporal .....	53
Fig. 71 – Resultado da simulação com condições múltiplas .....	53
Fig. 72 – Altura de água no reservatório.....	53



## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 1 – Critério de referência para fixação de <b>g</b> .....	5
Quadro 2 – Coeficientes para as fórmulas de perda de carga contínua em tubagens novas.....	7
Quadro 3 – Propriedades dos nós .....	9
Quadro 4 – Propriedades dos troços/tubos .....	9
Quadro 5 – Tipos de objectos do EPANET.....	11
Quadro 6 – Propriedades dos nós (msx) .....	30
Quadro 7 – Propriedades dos troços/tubos (msx) .....	30
Quadro 8 – Formato do ficheiro *.msx .....	31



## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

$P_f$  – População futura [habitantes]

$P_a$  – População actual [habitantes]

$c$  – Taxa de crescimento linear ou taxa de crescimento geométrico da população

$t$  – numero de anos

$e$  – constante matemática igual a 2,71828183

$Q_{dma}$  – Caudal diário médio anual [l/s]

$Q_p$  – Caudal de ponta instantâneo [l/s]

$f_{pi}$  – factor de ponta instantâneo

$q$  – Caudal unitário de percurso [l/s]

$L$  – Comprimento do tubo [m]

$H$  – Pressão mínima [m.c.a.]

$n$  – número de pisos acima do solo

$V$  – Velocidade de escoamento [m/s]

$D$  – Diâmetro interno da tubagem [mm]

$h_L$  – Perda de carga contínua [m]

$A$  – Termo de perda de carga

$B$  – Expoente do caudal

$\epsilon$  – Rugosidade absoluta ou de Darcy-Weisbach [mm]

$n$  – Coeficiente de rugosidade de Manning

$K$  – Coeficiente de perda de carga localizada

$g$  – Aceleração da gravidade [ $m/s^2$ ]

$V_u$  – Volume útil

$P_{max}$  – Pressão máxima

$P_{min}$  – Pressão mínima

CAD – Computer-Aided Design ou desenho auxiliado por computador

GIS – Geographic Information Systems ou sistema de informação geográfica

dxF – Drawing Exchange Format

dwg – Drawing ou desenho em 2D ou 3D

RNF – Reservatório de Nível Fixo

RNV – Reservatório de Nível Variável

bmp – Microsoft Windows Device Independent Bitmap

emf - Microsoft Windows Enhanced Metafile

wmf - Microsoft Windows Metafile

inp – Input files ou ficheiro de entrada

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

F.E.U.P. – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

MSX – Multi-Species Extension ou extensão de multi-espécies

txt – Textfile ou ficheiro de texto

csv - Comma Separated Value ou valores separados por vírgulas

PSV – Pressure sustaining Valve ou válvula de alívio

VPCF – Válvula de perda de carga fixa

PBV – Pressure Breaker Valve

m.c.a. – Metros coluna de água

SI – Sistema Internacional

## INTRODUÇÃO

### 1.1. DESCRIÇÃO DOS OBJECTIVOS

A realização de simulações ou modelações do funcionamento de sistemas hidráulicos tem conhecido na última década avanços significativos, em particular, o estudo dos sistemas de transporte e abastecimento de água a aglomerados populacionais. São avanços ao nível informático, onde os programas disponíveis no mercado e em comunidades mais centradas em determinadas matérias foram desenvolvidos e aperfeiçoados com base em dados recolhidos de situações reais aliados ao desenvolvimento da linguagem de programação.

O EPANET, como simulador de cálculo automático de redes de transporte e distribuição de água, é o software escolhido para o desenvolvimento deste trabalho apesar de ainda existirem algumas falhas, nomeadamente no campo da georreferenciação, pois apresenta um grande potencial para poder vir a ser um dos mais utilizados na gestão e no planeamento desses sistemas hidráulicos. Assim, este trabalho de investigação foi desenvolvido de forma a explorar as potencialidades deste programa, nomeadamente através da concretização de alguns dos casos descritos no capítulo 12 (questões frequentes) do seu manual, colmatando assim uma pequena lacuna deste instrumento escrito, bem como apontar soluções e criar exemplos práticos da interacção com outros programas como o Autocad<sup>®</sup> e o Microsoft<sup>®</sup> Excel, optimizando esta ferramenta para diferentes situações de estudo.

### 1.2. BREVE INTRODUÇÃO AO SOFTWARE EPANET

#### 1.2.1. DEFINIÇÃO

Dentro dos programas disponíveis para a simulação de redes de abastecimento de água destaca-se o EPANET, criado e desenvolvido pela U.S.E.P.A. – *Environmental Protection Agency*, dos Estados Unidos da América e que é distribuído gratuitamente - quer o seu código fonte, quer um conjunto de ferramentas de programação – tornando possível aos seus utilizadores contribuir para a sua evolução. Este simulador é, hoje em dia, um dos mais fiáveis softwares para este tipo de estudos, permitindo um melhor planeamento das redes bem como o seu funcionamento, uma vez que é capaz de nos apresentar resultados para variadas situações tais como executar simulações estáticas ou dinâmicas, avaliar a qualidade da água, etc.

### 1.2.2. CAPACIDADES

Salientam-se as seguintes potencialidades do EPANET:

- Simulação para estudo de expansão da rede de distribuição;
- Calibração de modelos hidráulicos;
- Avaliação de consumos;
- Análise do decaimento do cloro residual;
- Outras análises da qualidade da água, como o crescimento dos trihalometanos, por exemplo;
- Avaliar a idade da água em determinados pontos da rede;
- Modelação do funcionamento de válvulas e bombas;
- Importação de redes desenhadas em Autocad;
- Análise das condições de combate a incêndio;
- Integração com programas GIS – sistemas de informação geográfica.

### 1.2.3. LIMITAÇÕES

O EPANET, por si só e como programa, apresenta ainda hoje algumas desvantagens relativamente a outros softwares disponíveis no mercado o que obriga a utilização de programas suplementares/auxiliares. Seria um excelente instrumento se conseguisse:

- Importar e trabalhar com redes desenhadas em CAD (\*.dxf ou \*.dwg);
- Analisar a qualidade da água de mais do que uma espécie química em simultâneo;
- Atende-se à distribuição dos consumos ao longo da rede;
- 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.

### 1.2.4. SOFTWARE UTILIZADO E REQUISITOS

#### 1.2.4.1. Sistema operativo

O EPANET funciona em ambiente Microsoft® Windows 95/98/NT/2000 e XP, em sistemas IBM/Intel.

Já existe uma versão brasileira destinada a funcionar no último sistema operativo da Microsoft, o Windows Vista, mas não a utilizei uma vez que o meu *hardware* funciona com o Windows XP. No entanto deixo aqui o *link* do site do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da UFPB para posteriores análises: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downepanet.html>.

Existe também uma versão para Linux, desenvolvida por Manuel López-Ibáñez, adaptada da versão original 2.00.10, que também não tive oportunidade de testar e que pode ser encontrada na sua página Web: <http://sbe.napier.ac.uk/~manuel/epanetlinux>.

#### 1.2.4.2. EPANET

A primeira versão estável oficial do EPANET 2.0 foi lançada em Junho de 2000 (versão 2.00.05) tendo sido alvo de inúmeros contributos e desenvolvimentos encontrando-se à data na versão 2.00.12, datada de 25 de Fevereiro de 2008. Uma descrição destes desenvolvimentos poderá ser vista em <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet/EN2updates.txt>.

A versão portuguesa e única é a 2.00.09a, datada de Junho de 2002 tendo o manual sido traduzido pelo Laboratório Nacional de Engenharia em 2004.

A versão utilizada para este trabalho foi a 2.00.12, mais recente e em inglês, permitindo usufruir de correcções e desenvolvimentos que a versão portuguesa ainda não dispõe.

### 1.3. ELEMENTOS DE BASE PARA ESTUDOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

#### 1.3.1. ANÁLISE DEMOGRÁFICA

Uma das primeiras fases a realizar é a análise demográfica; através de métodos estatísticos (método aritmético ou geométrico) é possível estimar o n.º de habitantes/utentes (população residente e flutuante) que esse aglomerado poderá vir a ter no ano horizonte de projecto, por exemplo, daqui a 40 anos. Exemplos de alguns métodos que se podem utilizar:

⇒ Método Linear: evolução demográfica de acordo com a expressão

$$P_f = P_a \times (1 + ct) \quad (1)$$

em que:

- $P_f$  – população futura
- $P_a$  – população actual
- $c$  – taxa de crescimento linear da população
- $t$  – numero de anos

⇒ Método de Regressão Exponencial: ajustamento dos dados existentes a uma lei do tipo

$$P_f = P_a \times e^{ct} \quad (2)$$

expressão esta equivalente à Lei de Malthus quando aplicada a efectivos populacionais se  $c$ , que representa a taxa de crescimento geométrico, for muito pequeno:

$$P_f = P_a \times (1 + c)^t \quad (3)$$

⇒ Outros Métodos:

- *Método Logístico*, onde a possibilidade de crescimento ilimitado da população é substituída por uma População de Saturação.
- *Método das Componentes Demográficas* baseado no principio de que a população futura pode ser obtida a partir de uma população inicial e do balanço entre o n.º de nascimentos, óbitos, imigrações e emigrações no intervalo de tempo entre as duas populações.
- *Método da Razão e Correlação* onde se admite que a taxa de crescimento da população se encontra relacionada com uma determinada zona territorial.
- *Método da Previsão do Emprego* em que a evolução é estimada a partir da previsão da oferta e procura de emprego na região e utilizado para projecções a curto prazo.

### 1.3.2. PREVISÃO DOS CONSUMOS DOMÉSTICOS E TOTAIS

Para dimensionarmos uma determinada rede de abastecimento e transporte de água deveremos ter em consideração as necessidades de cada habitante, isto é, a capitação. O Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (adiante referido como Regulamento), entre o artigo 13º e o 17º, estipula os valores mínimos para as capitações (expressas em litros/dia) em função do número de habitantes bem como para as restantes situações possíveis (consumos públicos, comerciais e industriais).

Agora é necessário efectuar os cálculos relativos aos caudais:

- Caudal Diário Médio Anual

$$Q_{dma} = \frac{P_f \times Capitação}{24 \times 3600} \quad (4)$$

- Caudal de Ponta Instantâneo em que  $f_{pi}$  é o factor de ponta instantâneo

$$Q_p = f_{pi} \times Q_{mda} \quad (5)$$

- Factor de ponta instantâneo

$$f_{pi} = 2 + \frac{70}{\sqrt{P_f}} \quad (6)$$

A estes caudais ainda teremos de adicionar pelo menos mais 10% do volume de água que entra no sistema de modo a minimizar as eventuais perdas e fugas de água ao longo da rede.

### 1.3.3. DIMENSIONAMENTO DA REDE

Para efectuarmos o dimensionamento do sistema de abastecimento de água traçamos a rede de distribuição de modo a abastecer o aglomerado populacional e prevendo futuras construções. Estas redes poderão ser classificadas como ramificadas ou emalhadas e geralmente o critério de concepção é o de juntar as duas, a rede principal é emalhada a que se associa uma rede secundária ramificada em determinadas extensões.

Quando há consumos ao longo dos tubos é importante considerar o caudal unitário de percurso  $q$ :

⇒ Urbanização uniforme em toda a área de projecto, onde se considera  $q$  com uma distribuição uniforme em toda a rede e que resulta da divisão entre o caudal de ponta  $Q_p$  e o somatório dos comprimentos de todos os trechos da rede:

$$q = \frac{Q_p}{\sum L_i} \quad (l/s) \quad (7)$$

- ⇒ Outra situação corresponde à existência de zonas com características diferentes mas onde se pode considerar que em cada uma delas existe uma distribuição uniforme, permitindo utilizar a expressão anterior para cada um desses casos.
- ⇒ Em aglomerados com diferentes tipos de ocupação e considerando áreas de influência de cada trecho da rede e a respectiva ocupação, é possível obter o  $q$  a partir de uma distribuição do  $Q_p$  ponderado pelas populações que estarão afectas a cada trecho.
- ⇒ Outro método é o de relacionar o  $q$  com a densidade populacional estimada e onde os diferentes  $q$  estão relacionados entre si; o quadro e equação seguintes servem de exemplo a este método:

Quadro 1 – Critério de referência para fixação de  $q$

Densidades de Ocupação (hab/ha)	Inferior a 15	15 a 50	50 a 150	150 a 300	Superior a 300
Caudais Unitários de Percurso	$q_1 = q_0$	$q_2 = 2q_0$	$q_3 = 3q_0$	$q_4 = 4q_0$	$q_5 = 5q_0$

$$q_0 = \frac{Q_p}{L_1 + 2L_2 + 3L_3 + 4L_4 + 5L_5} \quad (1/s) \quad (8)$$

Para realizar uma estimativa do consumo nos nós de uma rede através do Método dos Coeficientes de Utilização podemos utilizar uma folha do MS Excel “programada” para simplificar os cálculos. Os dados que necessitamos de introduzir nesta folha de cálculo são os seguintes:

- Consumo total em l/s
- Comprimento de cada tubo
- Coeficientes de utilização para cada tubo
- Troços confluentes nos nós
- Grandes consumos

Com estes elementos a folha calcula automaticamente o peso de cada nó na rede e o consumo de percurso, podendo a tabela ter a seguinte configuração:

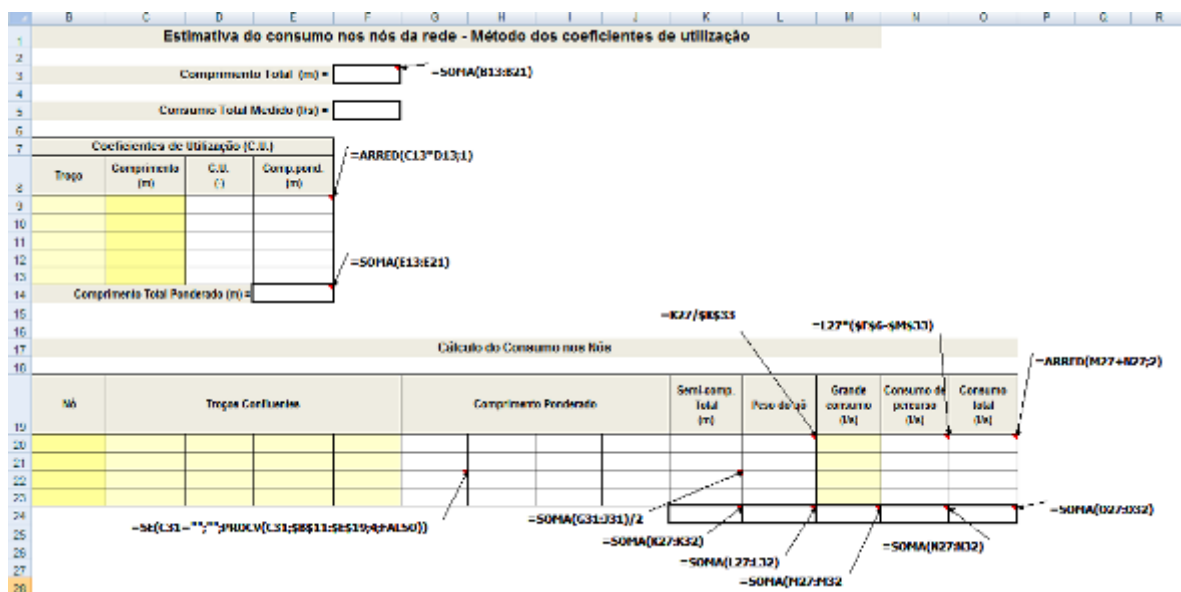


Fig.1 – Quadro do Método dos Coeficientes de Utilização

Outro elemento a considerar são as pressões na rede, havendo valores máximos e mínimos a respeitar de acordo com o Regulamento. Assim, a pressão máxima em qualquer ponto da rede não deverá exceder os 600 KPa, medida ao nível do solo e em regime hidrostático e a pressão mínima em qualquer dispositivo não deverá ser inferior a 100 KPa, correspondendo, aproximadamente, para uma rede pública à expressão:

$$H = 100 + 40n \quad (9)$$

onde **H** é a pressão mínima e **n** o número de pisos acima do solo (incluindo o térreo).

Por último, o Regulamento no seu Artigo 21º, estipula que a velocidade de escoamento para o caudal de ponta, no ano horizonte de projecto, deverá ser inferior a:

$$V = 0,127D^{0,4} \quad (\text{m/s}) \quad (10)$$

em que **D** é o diâmetro interno da tubagem, em mm.

Para o caudal de ponto no início da exploração a velocidade deverá ser superior a 0,3 m/s e quando este valor não puder ser cumprido deverão ser previstos dispositivos para descarga periódica.

Relativamente aos diâmetros mínimos a adoptar e baseado também no Regulamento:

- a) 60 mm – população inferior a 20 000 habitantes
- b) 80 mm – população superior a 20 000 habitantes

Se a mesma rede pública também tiver de abastecer os hidrantes para combate a incêndio então os valores mínimos para os diâmetros são função do risco da zona:

- a) 80 mm – grau 1
- b) 90 mm – grau 2
- c) 100 mm – grau 3
- d) 125 mm – grau 4
- e)  $\geq 150$  mm – grau 5

É necessário ter em atenção os valores mínimos dos volumes de reserva para situações de combate a incêndio e que são as indicadas no Artigo 18º do Regulamento.

Por último, mas não menos importante, são as perdas de carga hidráulica na tubagem resultantes do trabalho exercido pelas forças resistentes onde devemos considerar as perdas contínuas e as localizadas.

A perda de carga contínua entre o nó inicial e final da tubagem pode ser obtida a partir da seguinte expressão:

$$h_L = Aq^B \quad (11)$$

- **h<sub>L</sub>** é a perda de carga (m)
- **q** é o caudal (m<sup>3</sup>/s)
- **A** é o termo de perda de carga
- **B** é o expoente do caudal

Existem actualmente 3 fórmulas que nos podem fornecer o valor para a perda de carga contínua dependendo da situação em que se aplica:

- a) Fórmula de Hazen-Williams – só aplicável à água e foi desenvolvida apenas para escoamentos turbulentos;

$$h_L = 10.674 \times C^{-1.852} \times d^{-4.871} \times L \times q^{1.852} \quad (12)$$

- C - coeficiente (ver quadro 2)
- L - comprimento da tubagem (m)
- q - caudal (m<sup>3</sup>/s)
- d – diâmetro da tubagem (m)

- b) Fórmula de Darcy-Weisbach – aplicável a todos os regimes de escoamento bem como para todos os líquidos; é considerada a expressão mais correcta na teórica

$$h_L = 0.0827 \times f(\varepsilon, d, q) \times d^{-5} \times L \times q^2 \quad (13)$$

- ε – rugosidade absoluta ou de Darcy-Weisbach (ver quadro 2) (mm)

- c) Fórmula de Chezy-Manning – só aplicada em escoamentos em superfície livre

$$h_L = 10.294 \times n^2 \times d^{-5.33} \times L \times q^2 \quad (14)$$

- n – coeficiente de rugosidade de Manning (ver quadro 2)

Cada uma daquelas fórmulas utiliza um coeficiente obtido empiricamente e diferente entre eles, dependendo na sua maioria da natureza e estado do material constituinte da tubagem:

Quadro 2 – Coeficientes para as fórmulas de perda de carga contínua em tubagens novas

Material	Hazen-Williams <b>C</b> (adimensional)	Darcy-Weisbach <b>ε</b> (mm)	Chezy-Manning <b>n</b> (adimensional)
Ferro fundido	130 – 140	0.25	0.012 - 0.015
Betão ou com revestimento em betão	120 – 140	0.3 - 3	0.012 - 0.017
Ferro galvanizado	120	0.15	0.015 – 0.017
Plástico	140 – 150	0.0015	0.011 – 0.015
Aço	140 – 150	0.03	0.015 – 0.017
Grés	110	0.3	0.013 – 0.015

As perdas de carga localizadas, que são causadas pelo aumento da turbulência devido à existência de diminuição de tubagem ou de curvas, são obtidas a partir da expressão:

$$h_L = K \left( \frac{v^2}{2g} \right) \quad (15)$$

- **K** é o coeficiente de perda singular
- **v** é a velocidade do escoamento (m<sup>3</sup>/s)
- **g** é aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

Os valores do coeficiente de perda de carga localizada para os diferentes tipos de singularidades podem ser consultados em Quintela, 1981 e Lencastre, 1996.

# 2

## METODOLOGIA E SIMULAÇÃO

### 2.1. CONFIGURAÇÃO DE UM PROJECTO NO EPANET

#### 2.1.1. ESCOLHA DE CENÁRIO E DEFINIÇÃO DAS OPÇÕES

O cenário escolhido foi o exemplo adoptado no manual da versão portuguesa (ver figura 5):

Quadro 3 – Propriedades dos Nós

Nó	Cota (m)	Consumo (l/s)
RNF_1	213	0
1	213	0,1
2	216	1,2
3	213	7
4	198	9,1
5	213	1,4
6	213	1,1
RNV_1	253	0

Quadro 4 – Propriedades dos Troços/Tubos

Tubo	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Factor C
1	915	200	100
2	1525	100	100
3	1525	150	100
4	1525	80	100
5	1525	80	100
6	2134	80	100
7	1525	150	100
8	2134	80	100

As opções por defeito, em particular as da versão original, vêm com alguns campos que terão de ser alterados para se adaptar ao sistema métrico utilizado entre nós, nomeadamente, o comprimento e diâmetro da tubagem, unidades de caudal, pressão, etc.. Devemos definir os rótulos de ID a atribuir a cada um dos objectos que constituem a rede. As alterações poderão ser realizadas em *Project/Defaults*.

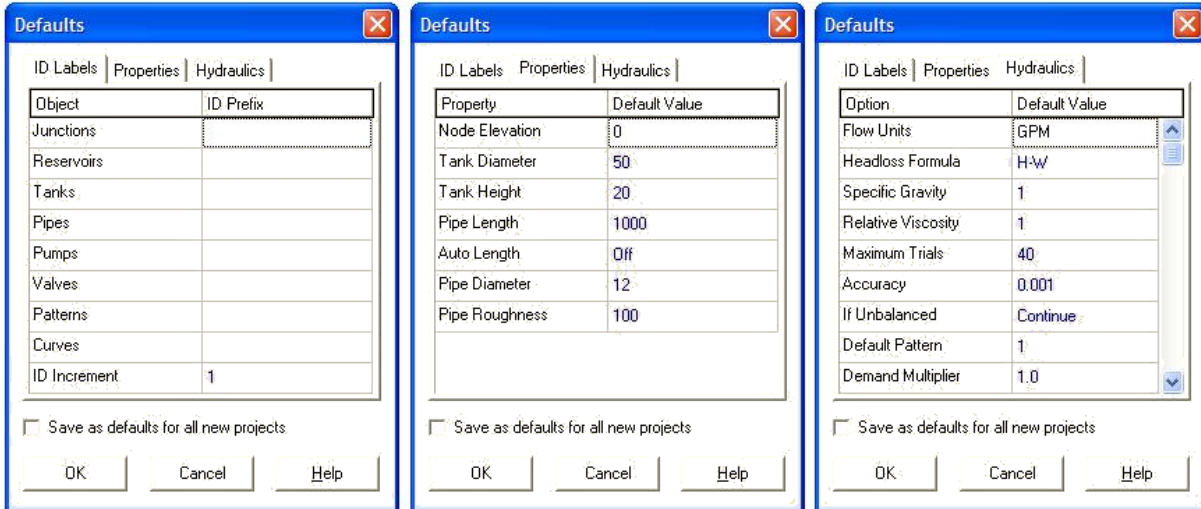


Fig.2 – Opções por defeito no EPANET

Outra das opções é a da visualização do mapa da rede, ou seja, a simbologia a apresentar, tipos de letra, fundos do mapa, ID's, etc.. Estas propriedades estão acessíveis através do menu *View/Options*.

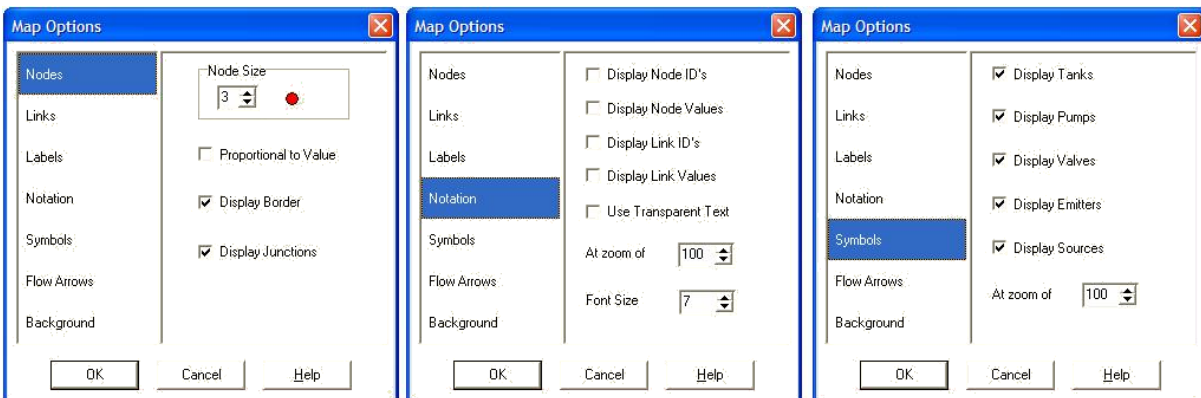


Fig.3 – Opções de Visualização no EPANET

A escala do mapa deve corresponder com o desenho pretendido. Menu *View/Dimensions*.

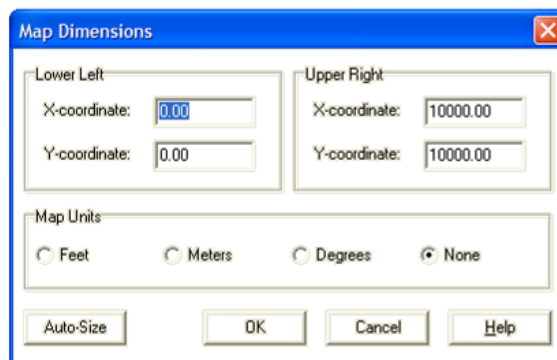
















Fig.4 – Dimensões do mapa no EPANET

### 2.1.2. TRAÇADO DA REDE E PROPRIEDADES DOS OBJECTOS

Após a configuração das opções do EPANET podemos traçar a rede em análise e para isso iremos utilizar os botões disponíveis na barra de ferramentas.

Quadro 5 – Tipos de Objectos do EPANET

Botão	Descrição
	Botão de selecção de objectos
	Seleccção de vértices de um troço
	Seleccção de uma zona do mapa
	Mover o mapa
	Aumentar tamanho do mapa
	Diminuir tamanho do mapa
	Desenhar o mapa no tamanho original
	Adiciona um Nó no mapa
	Adiciona um Reservatório de Nível Fixo (RNF)
	Adiciona um Reservatório de Nível Variável (RNV)
	Adiciona Tubagem (entre nós)
	Adiciona uma Bomba
	Adiciona uma válvula
	Edição/inserção de texto junto a objectos

Primeiro inserem-se os nós e os reservatórios e depois a tubagem e as bombas e/ou válvulas de acordo com o esquema pretendido. No nosso cenário a disposição da rede seria semelhante à figura seguinte:

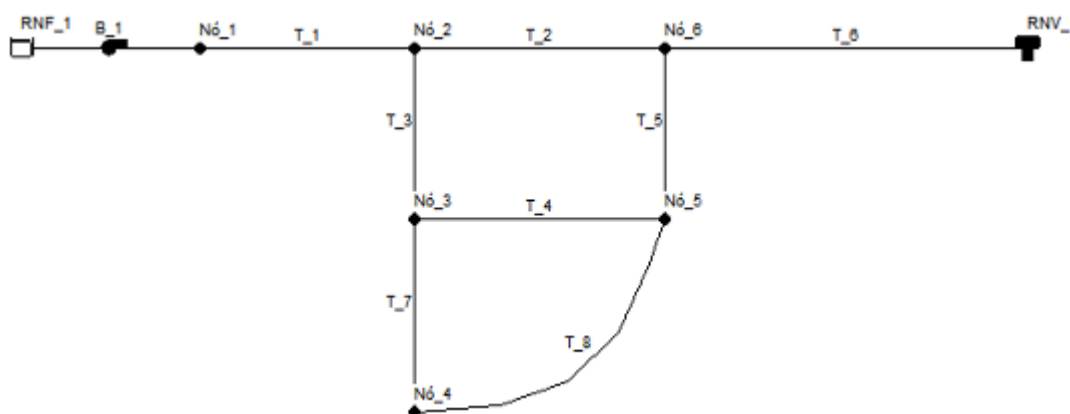


Fig.5 – Esquema da rede

O passo seguinte é corrigir as propriedades dos objectos inseridos no mapa da rede uma vez que estes se encontram com os valores definidos por defeito. Através do Editor de Propriedades alteramos os valores de cada objecto de acordo com as tabelas 1 e 2 e:

- O diâmetro do RNV é de 9,0 m, com 1,0 m de altura de água inicial e 3,0 m de altura máxima;
- A instalação de bombagem tem uma altura de elevação de 57,5 m e um caudal de 18 l/s; este par de valores serve para adicionar a curva característica.

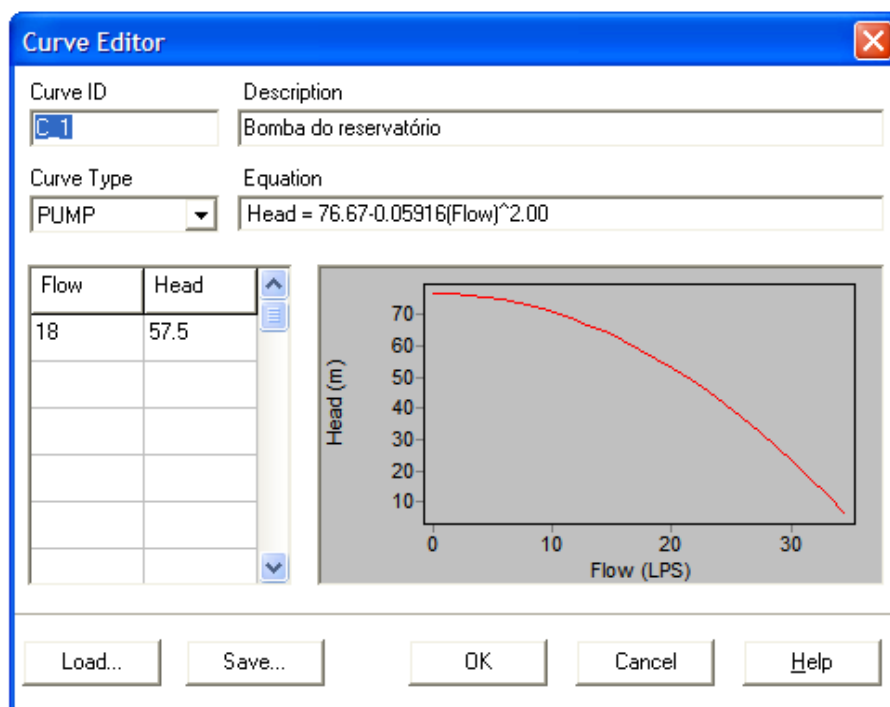



Fig.6 – Editor da Curva da Bomba

## 2.2. SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS

### 2.2.1. SIMULAÇÃO ESTÁTICA E ANÁLISE PRELIMINAR DOS RESULTADOS

Com a informação atrás descrita já é possível executar uma primeira simulação estática – instantânea da rede modelada. Para isso basta clicar no botão  ou seleccionar *Project / Run Analysis* e se a simulação tiver sido bem sucedida poderemos ver através das opções disponíveis na página do Mapa várias características da rede em funcionamento. Caso contrário, aparecerá uma janela com informação do erro cometido de modo a que o possamos corrigir.

Se escolhermos para visualização nos tubos o caudal escoado podemos, em primeira análise, verificar se cumpre o estipulado no Regulamento, nomeadamente no que diz respeito à velocidade mínima de escoamento do caudal de ponta no início da exploração que não deve ser inferior a 0,30 m/s.

No cenário em análise verifica-se que os resultados não se encontram dentro dos limites mencionados no Regulamento atrás referido; a correcção e ajuste destes valores e características da rede podem ser vistas no ponto 2.3.

## 2.2.2. SIMULAÇÃO DINÂMICA E ANÁLISE PRELIMINAR DOS RESULTADOS

Para efectuar este tipo de simulação é necessário criar um Padrão Temporal que represente a variação periódica ao longo do tempo dos consumos nos nós. Neste exercício utilizei um padrão de 24 horas com um espaçamento de 6 h, variando o consumo 4 vezes ao longo do dia.

Este padrão temporal é configurado através da janela de procura (dados), seleccionando *Options / Times*; é também fixada a duração total da simulação em 3 dias.

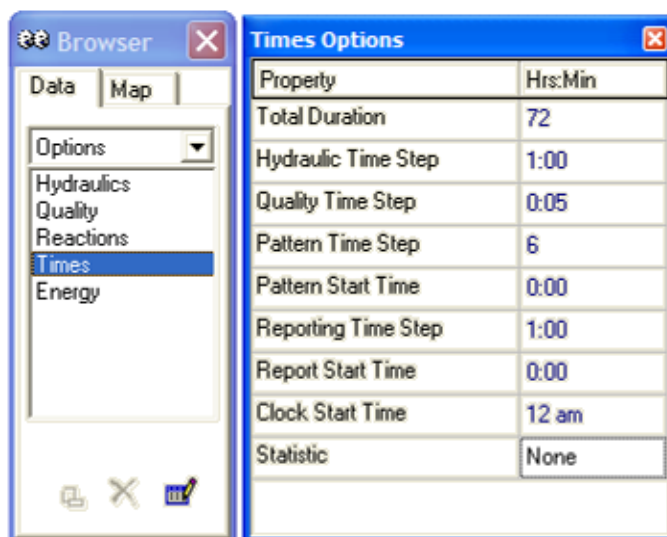


Fig.7 – Opções de Tempo

Depois é necessário criar o padrão (factores multiplicativos de 0.5, 1.3, 1 e 1.2) e adiciona-lo à propriedade do Padrão de Consumo para todos os nós da rede.

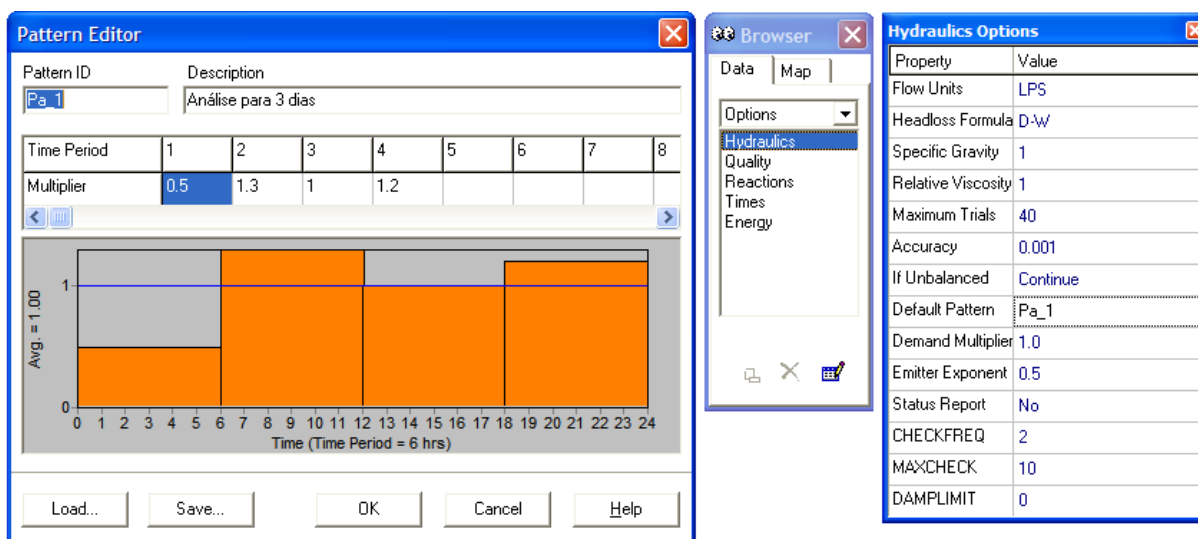


Fig.8 – Editor do Padrão Temporal e Opções Hidráulicas

De modo semelhante ao descrito para as simulações estáticas, também aqui poderemos visualizar diferentes dados agora com a ajuda de botões de vídeo na janela de procura, que nos permitem controlar a animação ao longo do tempo.

## 2.2.3. VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS

### 2.2.3.1. Tabelas

O EPANET permite outros tipos de visualização dos resultados das simulações efectuadas com sucesso. Uma delas é a criação de uma lista em tabela, onde o operador tem a opção de escolher quais as propriedades que quer ver listadas.

Para as simulações efectuadas, foram criadas as seguintes tabelas de resultados:

Node ID	Elevation m	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc Nó_1	213	0.10	265.27	52.27
Junc Nó_2	216	1.20	261.71	45.71
Junc Nó_3	213	7.00	247.15	34.15
Junc Nó_4	198	9.10	242.89	44.89
Junc Nó_5	213	1.40	246.66	33.66
Junc Nó_6	213	1.10	254.52	41.52
Resvr RNF_1	213	-20.31	213.00	0.00
Tank RNV_1	253	0.41	254.00	1.00

Link ID	Length m	Diameter mm	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km
Pipe T_1	915	200	-20.21	0.64	3.89
Pipe T_2	1525	100	-3.62	0.46	4.71
Pipe T_3	1525	150	-15.39	0.87	9.55
Pipe T_4	1525	80	-0.47	0.09	0.32
Pipe T_5	1525	80	-2.11	0.42	5.16
Pipe T_6	2134	80	0.41	0.08	0.24
Pipe T_7	1525	150	7.92	0.45	2.79
Pipe T_8	2134	80	-1.18	0.24	1.76
Pump B_1	#N/A	#N/A	20.31	0.00	-52.27

Fig.9 – Tabelas de Resultados para uma Simulação Estática

Para as simulações dinâmicas a tabela é um pouco mais extensa uma vez que esta contém os dados pretendidos de hora em hora para a duração total da simulação em cada nó ou troço da rede.

Não é relevante a sua apresentação neste relatório, no entanto, as tabelas são obtidas em modo semelhante ao descrito para as simulações estáticas tendo só o cuidado de escolher a opção pretendida na janela *Tabel Selection – Time serie for node or link*.

### 2.2.3.2. Gráficos

Com a utilização de gráficos podemos visualizar a variação de determinadas características dos pontos que quisermos ao longo do padrão temporal criado e simulado. Além disso, os gráficos podem ser personalizados, isto é, podemos alterar o tipo de letra e cor dos títulos, alterar as cores do fundo e do painel, ver em 3D, mudar a escala vertical e horizontal, mudar a legenda, etc.

Existem diferentes tipos de gráficos: Série Temporal, de Perfil, de Isolinhas de Freqüências e de Balanço de Caudais bastando escolher aquele que melhor traduzir e evidenciar os resultados pretendidos. No nosso caso obtemos um gráfico de Série Temporal da carga hidráulica no Nó 6:

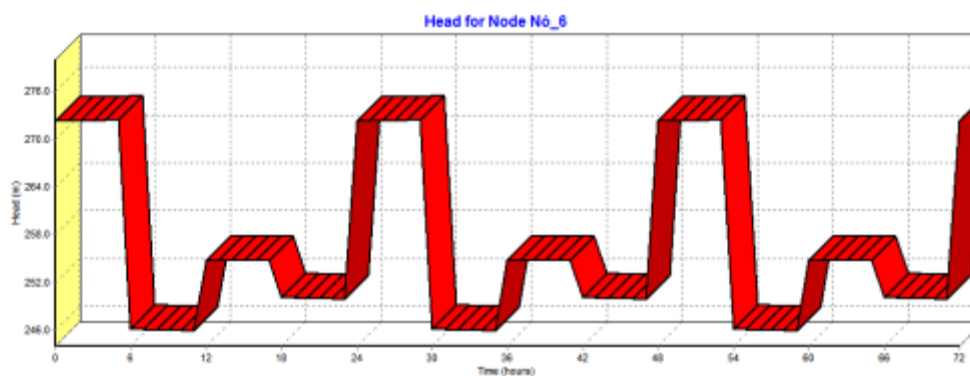


Fig.10 – Gráfico de Série Temporal no Nó 6

### 2.2.3.3. Opção Consulta

Existe ainda outra função útil para uma primeira análise que é a função Consultar (menu *View / Query*). Esta permite identificar os nós ou a tubagem que satisfazem a determinados critérios escolhidos pelo operador e que posteriormente poderão ser alvo de rectificações no caso de não se encontrarem dentro dos valores pretendidos.

Como exemplo desta função, a figura seguinte identifica o número e a localização dos troços onde, após a execução da simulação pretendida, a velocidade é inferior a 0,4 m/s.

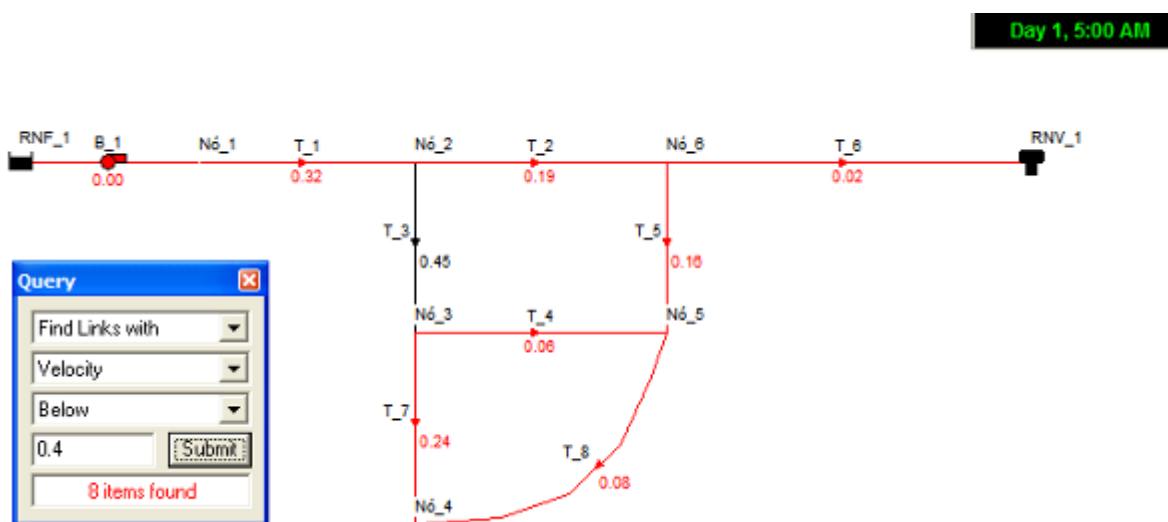


Fig.11 – Consulta a troços com velocidade inferior a 0,4 m/s

Esta função tem a particularidade de à medida que o tempo avança, ele automaticamente actualizar a procura e respectivo resultado.

## 2.3. VISUALIZAÇÃO DE IMAGENS DE FUNDO

É possível colocar uma imagem de fundo do mapa que ficará debaixo da rede que estamos a estudar, ou seja, podemos colocar um mapa com ruas ou outro tipo de informação que possa ser útil ao desenvolvimento da simulação e depois desenhar a rede de abastecimento por cima.

Esta imagem terá de ser criada externamente ao EPANET e só são aceites ficheiros do tipo \*.bmp, \*.emf e \*.wmf ; após a importação para o cenário a imagem já não poderá ser editada embora se possa mexer nas suas dimensões.

O que se fazia até há pouco tempo era transformar/gravar os desenhos feitos em CAD e mapas do sistema GIS em ficheiros *metafile* e depois colocá-los como fundo da rede no EPANET. Nos próximos subcapítulos são indicadas soluções válidas para trabalhar com redes desenhadas em CAD ou mapas com origem em sistemas GIS.

Para inserir uma imagem utilizamos o menu *View/Backdrop/Load* e seleccionamos a imagem pretendida.

A 1ª vez que a imagem é importada para o cenário, ela é colocada no canto superior esquerdo coincidindo com o mesmo canto da rede mas depois ela pode ser reposicionada relativamente à rede através do menu *View/Backdrop/Align* permitindo que toda a rede possa ser movimentada sobre o mapa até ao local pretendido. Para melhor resultado dever-se-á dimensionar o mapa da rede de modo a que o seu rectângulo de fronteira tenha a mesma relação proporcional que a imagem a usar.

Esta imagem é guardada com todos os restantes elementos do projecto num único ficheiro.

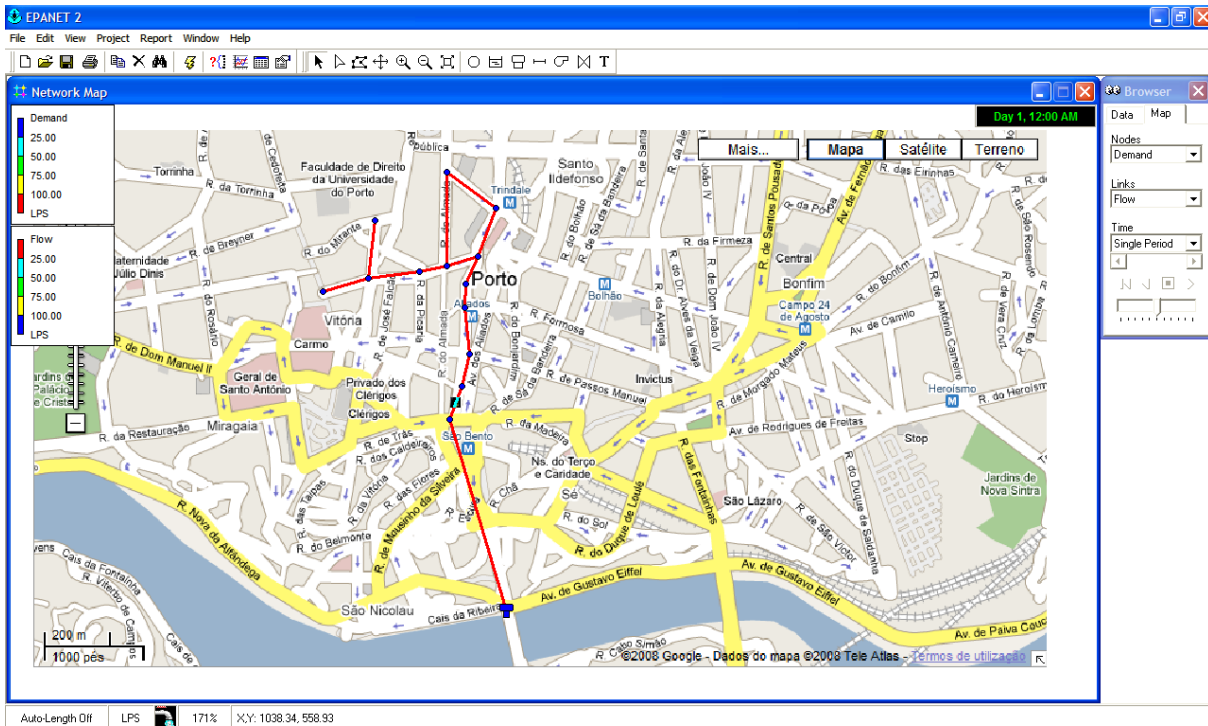


Fig.12 – Introdução de imagem de fundo

# 3

## INTERACTIVIDADE / EXTENSÕES

### 3.1. IMPORTAÇÃO DE UMA REDE DESENHADA A PARTIR DE PROGRAMAS CAD OU GIS

#### 3.1.1. ARCVIEW

O modelo utilizado para este exemplo é uma rede de abastecimento de água a um aglomerado populacional genérico desenhada em software CAD (Autocad® da Autodesk ou ProgeCad da ProgeSoft).

É também utilizada uma plataforma GIS para a integração dos dados, o software ESRI – *Environmental Systems Research Institute, Inc.*, ArcView GIS, versão 3.3, com a extensão GISRed v1.0, desenvolvido pela Redhisp – *Research Group of Hydraulic Networks and Pressurized Systems* da Universidade Politécnica de Valência.

Esta extensão permite a integração do EPANET em ambiente GIS, calibrar a rede em estudo, importação de dados de ficheiros Autocad e Epanet e verificar a conectividade da rede.

#### 3.1.1.1. Introdução e Configuração de Valores

Após a instalação desta extensão é necessário selecciona-la em *File/Extensions* no Arcview, bem como a extensão *Cad Reader* permitindo a leitura deste tipo de ficheiros. Após esta selecção aparecerá uma nova opção denominada *Scenarios* na janela de gestão de projectos.

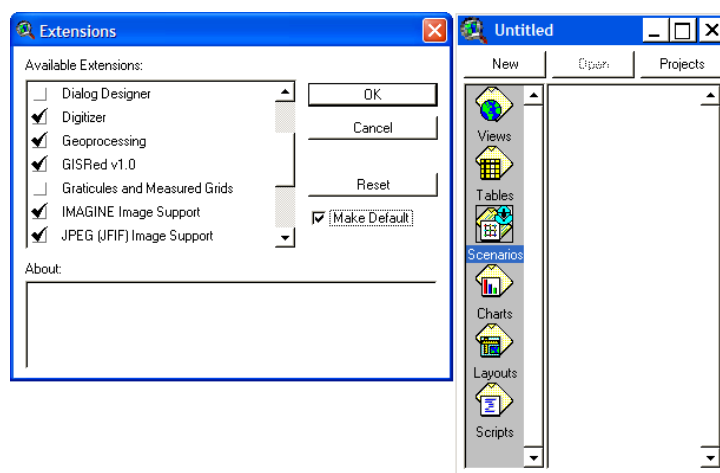


Fig.13 – Menu de extensões e cenários

O passo seguinte é criar um novo projecto (menu *GISRed/New*) atribuindo-lhe um nome, local para guardar os dados e um nome para o cenário. Ao criar o projecto serão automaticamente adicionados 2 temas: nós e tubagens.

Podemos também configurar o aspecto destes temas, nomeadamente a sua simbologia.

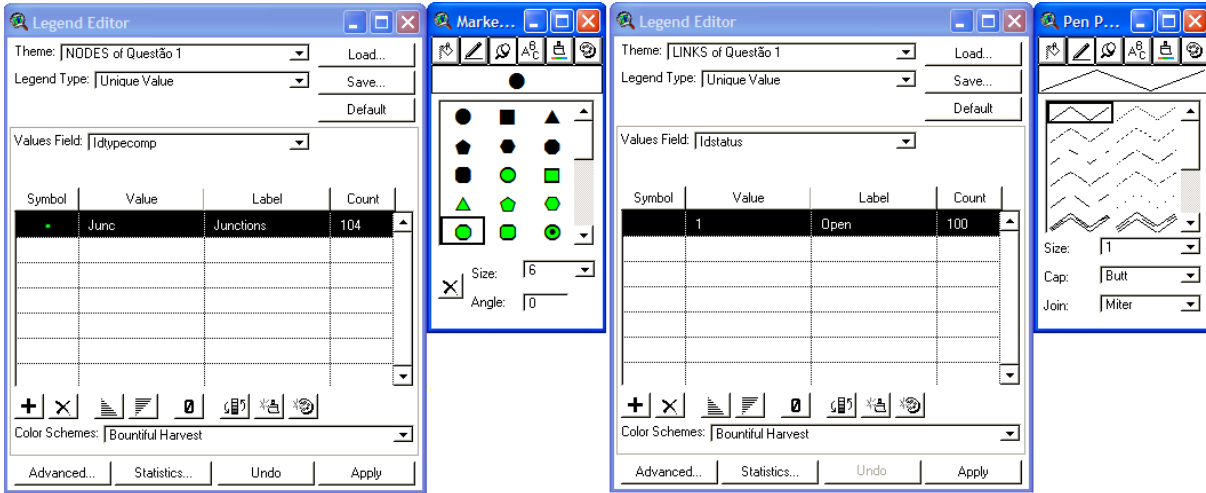


Fig.14 – Configuração dos símbolos para os nós e tubos

Mas antes de começarmos a importar ficheiros CAD deveremos definir os valores por defeito do projecto, em *Scenario/Defaults*. Estas operações são semelhantes às já descritas para o EPANET (ver 2.1.1).

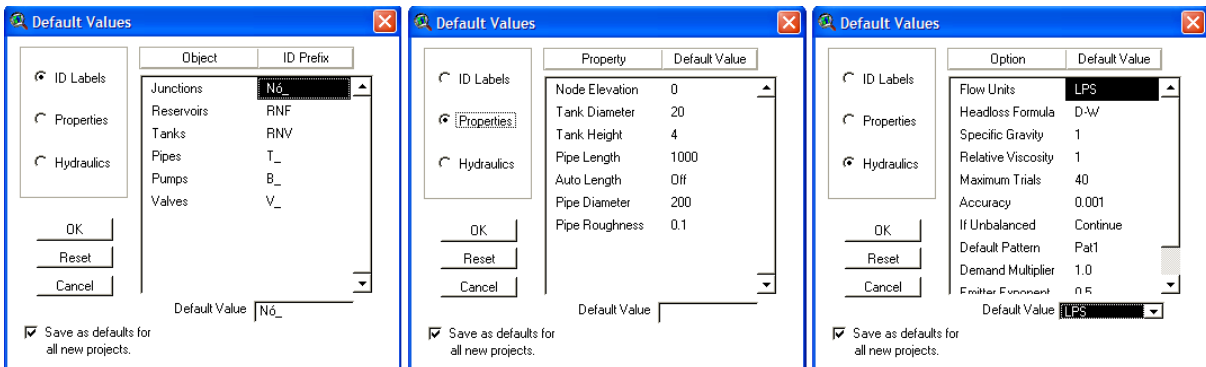



Fig.15 – Configuração dos valores do projecto

### 3.1.1.2. Introdução de Ficheiros CAD e Configuração das Propriedades

O ArcView suporta 2 tipos de ficheiros CAD: .dwg e .dxf. O ficheiro CAD utilizado é de uma rede de abastecimento de água projectada para abastecer um aglomerado populacional, mais concretamente, Palma de Gandia pertencente a La Safor, Valência, Espanha. Para adicionar este ficheiro CAD ao cenário criado seleccionamos o botão *Add Theme*  e procuramos o ficheiro pretendido (palmagandia.dwg); após importação e seleccionando o tema no cenário poderemos ter uma pré-visualização da nossa rede.

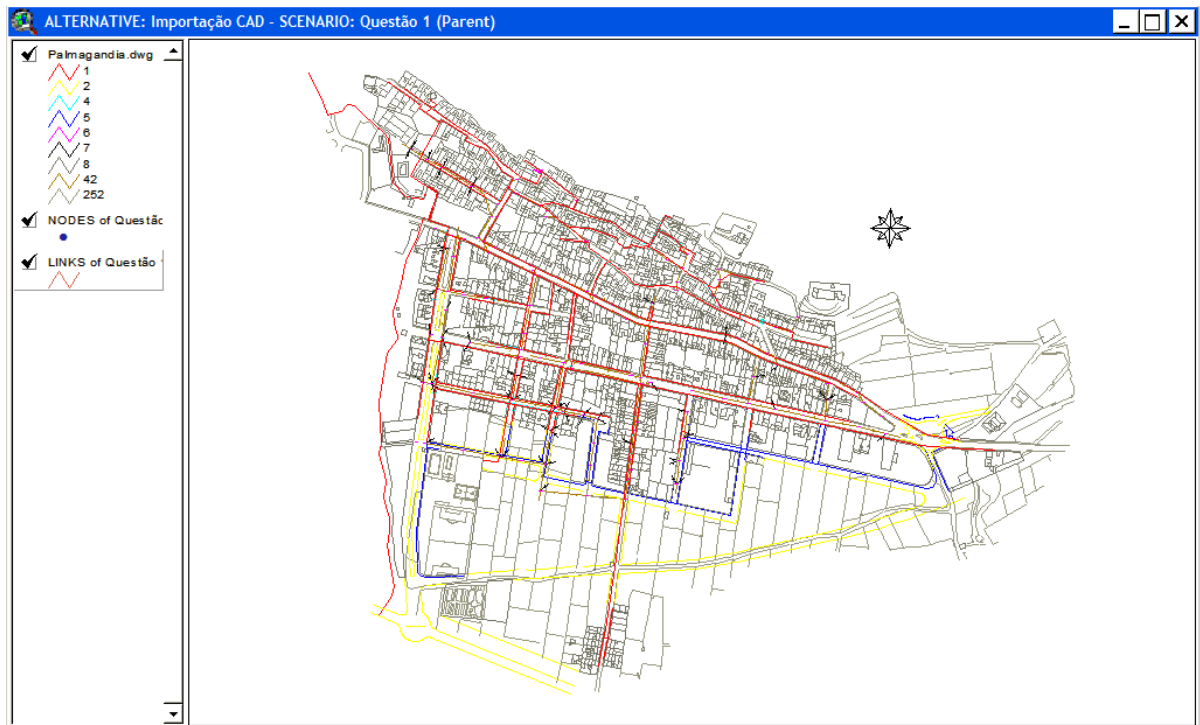



Fig.16 – Ficheiro CAD adicionado ao cenário

O passo seguinte será configurar as propriedades do tema correspondente ao ficheiro CAD; escolhemos o botão  e uma nova janela aparecerá de modo a aplicarmos as propriedades pretendidas. Nesta nova janela apenas alteramos o nome do tema para Tubagem, no separador *Drawings*, de modo a melhor o poder identificar ao longo da simulação e deixando as restantes propriedades com a definição de origem. O nosso cenário ficará agora com o seguinte aspecto:

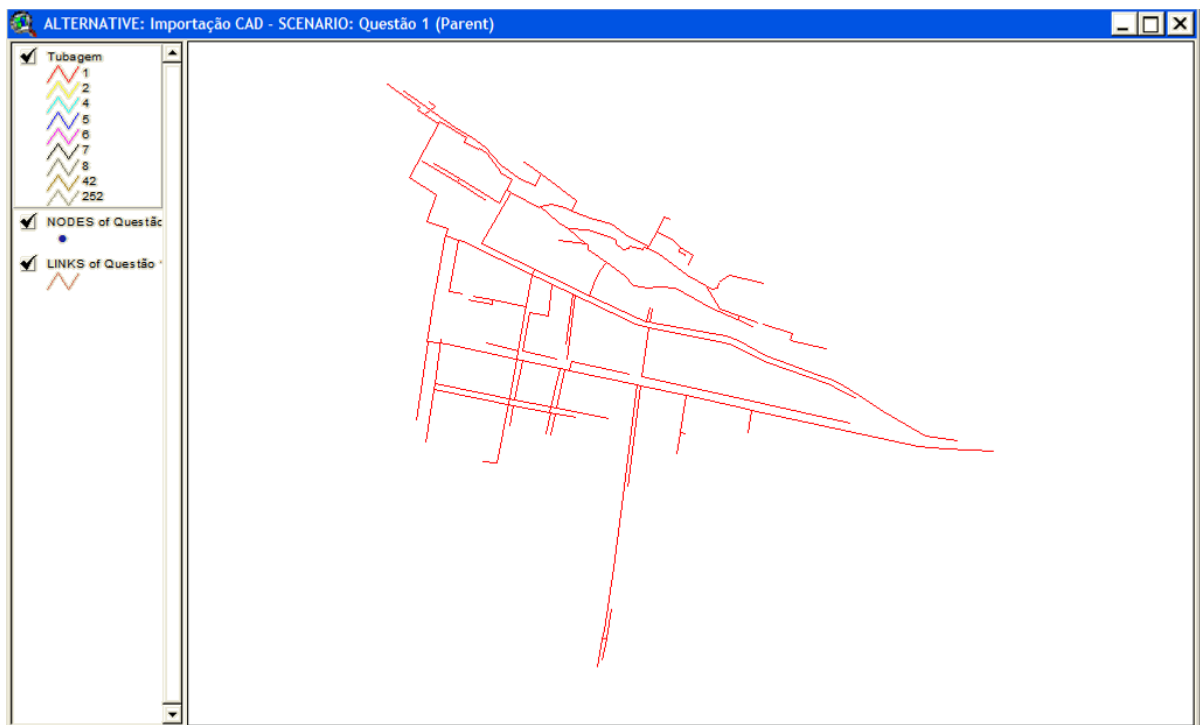



Fig.17 – Aspecto do cenário após alteração das propriedades do tema

Outros temas poderiam ser adicionados ao cenário, como o texto que acompanha a rede indicando, por exemplo, quais os diâmetros, comprimentos, etc..

No entanto, a importação deste tipo de temas (*Labels*) poderá não coincidir efectivamente com o desenho original uma vez que o programa coloca esses *labels* junto da *linha* mais próxima o que poderá originar alguns erros e contratempos ao operador.

### 3.1.1.3. Importação da Rede

Para continuar é necessário importar a rede, isto é, criar um cenário através da introdução do layer do ficheiro CAD que contem a rede; para isso activamos o tema *Links* e vamos ao menu *Scenario/Import pipes* ou clicamos no botão 

Após a selecção de CAD Layers aparecerá uma janela onde configuraremos a importação da *layer*. Escolhemos o tema (Tubagem) e ficarão activas novas opções, como o diâmetro e o material. Como esta *layer* não tem nada associado à rede desenhada deixamos os valores de defeito (*None*).

Se tivéssemos importado outros temas, como legendas, poderíamos seleccionar a opção *Annotation Layer*, escolher o tema importado (que não é a Tubagem) e definir o que queríamos que fosse apresentado: diâmetro e/ou material. A *Snapping Tolerance* é o valor que o programa utiliza para verificar a conectividade do sistema entre tubos sempre que uma nova linha é adicionada à rede.

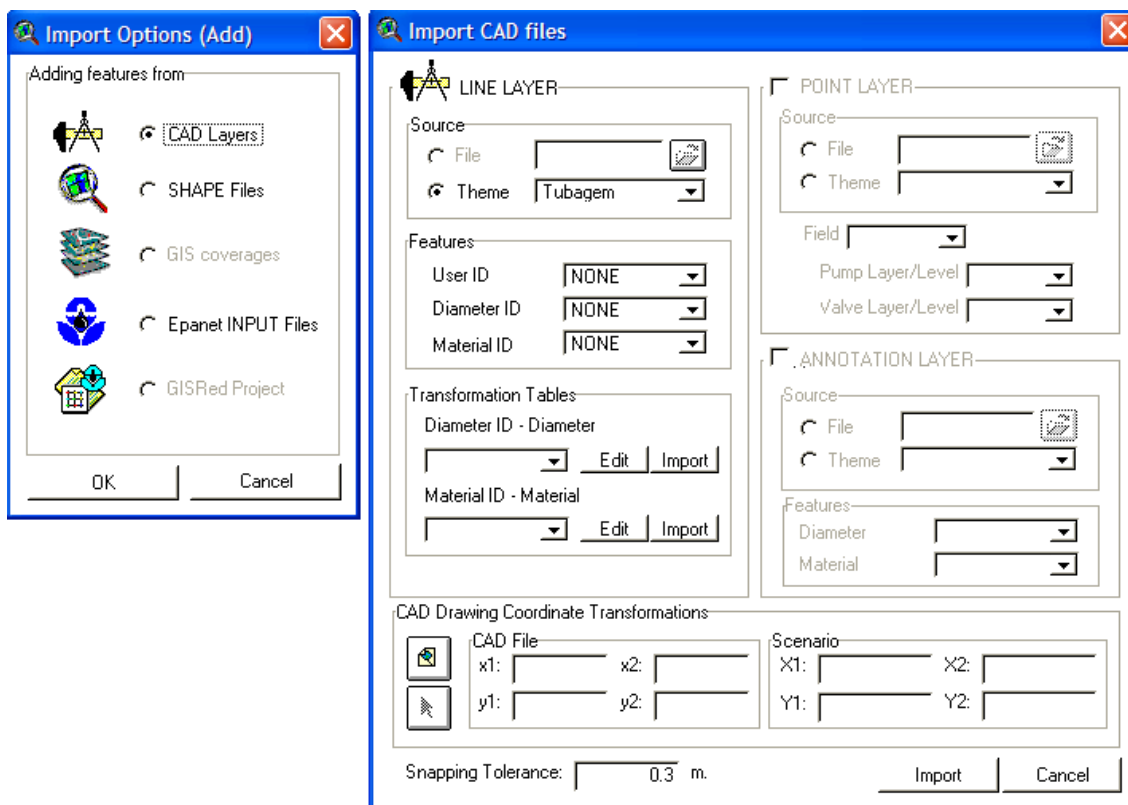


Fig.18 – Janelas de opção de importação de ficheiros CAD

### 3.1.1.4. Transformação de Coordenadas

Com o que até agora já foi definido é possível fazer a importação do ficheiro CAD, no entanto existe ainda um importante passo a realizar e que passa pela transformação das coordenadas, excepto se soubermos que todas as importações feitas para o cenário (podemos utilizar vários ficheiros CAD no mesmo cenário, por exemplo) têm o mesmo sistema de coordenadas.

Para aplicar uma transformação de coordenadas bastará seleccionar *CAD Drawing Coordinate Transformations* (ver figura 18) e escolher os pontos entre uma nova janela que se abrirá (*CAD file*) e a do nosso cenário. Para o nosso exemplo não é necessário aplicar qualquer tipo de transformação uma vez que apenas estamos a utilizar uma layer de um ficheiro CAD.

Uma outra questão prende-se com a cota de cada nó. O GISRed pode fazer uma interpolação a partir de um tema onde constem estes valores, bastando para isso adicionar o tema e através do menu *Model Tools/Elevation Interpolation* seleccionar a opção “*by using na Elevation Point Themes*”. Para o exemplo em estudo não dispomos de nenhuma layer com a topografia do terreno e por isso a rede a transpor para o EPANET não tem valores para as cotas dos nós.

### 3.1.1.5. Verificar a Conectividade da Rede

Após a importação da rede (ver figura 19) e antes de a exportamos para o EPANET poderemos verificar a conectividade da rede, isto é, se existe algum troço que está desligado e que não deveria.

Através do menu *Model Tools/Connectivity* seleccionamos a opção *Connectivity* e um novo tema será adicionado ao cenário em estudo – *Subgraphs*. Tornando este tema activo veremos quantos e quais os locais onde a rede se encontra desconectada. Se pretendermos, podemos alterar as cores e os símbolos da rede (tubagem-links).

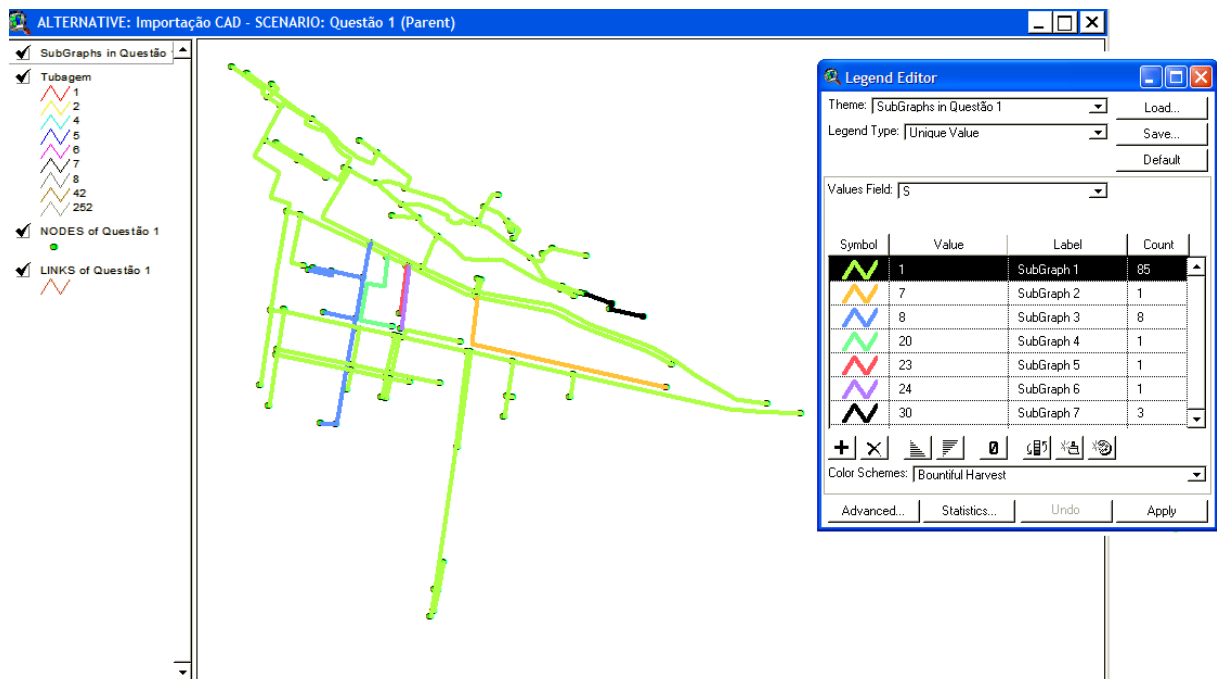




Fig.19 – Conectividade da Rede Importada


Se soubermos que esses “pontos desconectados” não o são na realidade devido a qualquer condicionante previamente definida não há necessidade de os corrigir mas se o pretendermos fazer podemos seguir estes passos:

- Activar o tema dos nós;
- Abrir o painel de ferramentas dos nós 
- Clicar na ferramenta *Connect Pipe to a Junction* 
- Escolher o tubo de origem e o tubo de destino.

### 3.1.1.6. Adicionar Imagem de Fundo ao Cenário

É possível adicionarmos um fundo à nossa rede, uma imagem que permita uma melhor identificação do local em estudo. Para este exemplo utilizei uma imagem de satélite e uma do terreno, obtidas através do Google Maps. Se tivéssemos outro tipo de software e acesso seria possível obter imagens com melhor qualidade e com maior quantidade de dados, no entanto para este exemplo demonstrativo estas são suficientes.

O primeiro passo é adicionar as imagens a um catálogo do Arcview:

- Menu Scenario/Add Customized Theme... ou botão 
- Escolher um nome para o catálogo
- Escolher o formato da imagem e OK.

Em seguida introduzimos o local onde a imagem se encontra e o programa irá pedir para “enquadrar” a imagem no cenário, ou seja, pedirá pontos de referência de modo a que a imagem de fundo se enquadre com a rede projectada.

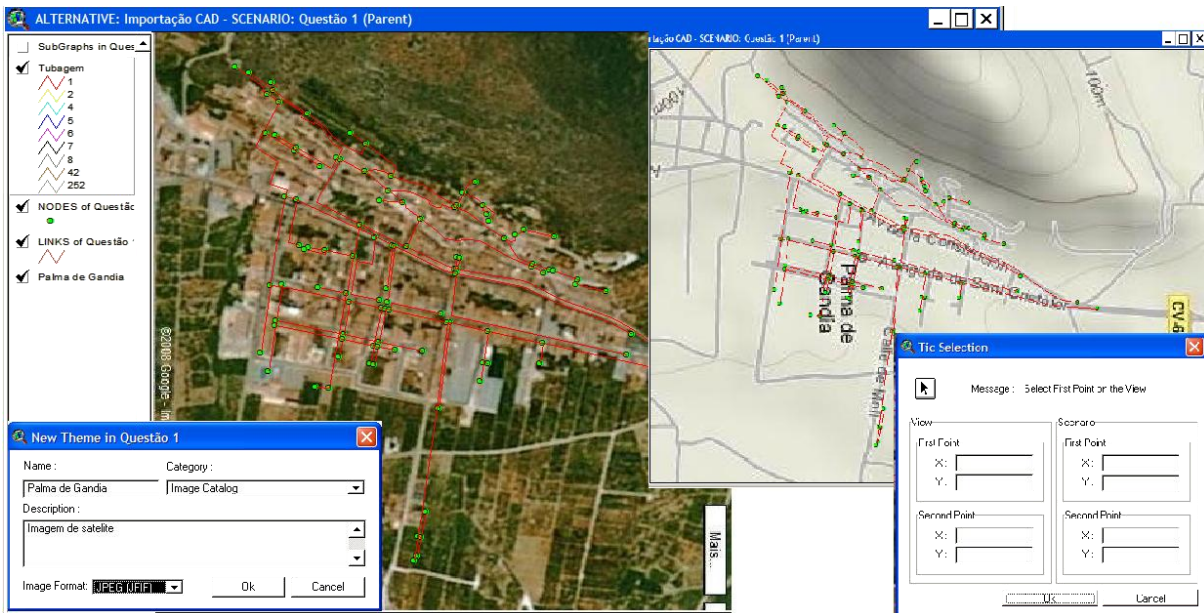



Fig.20 – Importação de Imagens de Fundo

### 3.1.1.7. Exportação para o EPANET

Para exportar a rede construída para o EPANET basta ir ao menu *Scenario/Export Epanet Input File* ou através do botão 

Será gerado um ficheiro com a extensão .inp o qual poderá ser aberto pelo EPANET. Como podemos ver todos os tubos e nós foram transpostos faltando apenas definir as cotas e restantes propriedades o que poderá ser feito agora, semelhante ao descrito no capítulo 2. Não esquecer que agora deveríamos localizar tanques, reservatórios, bombas, válvulas uma vez que essa informação não foi transposta.

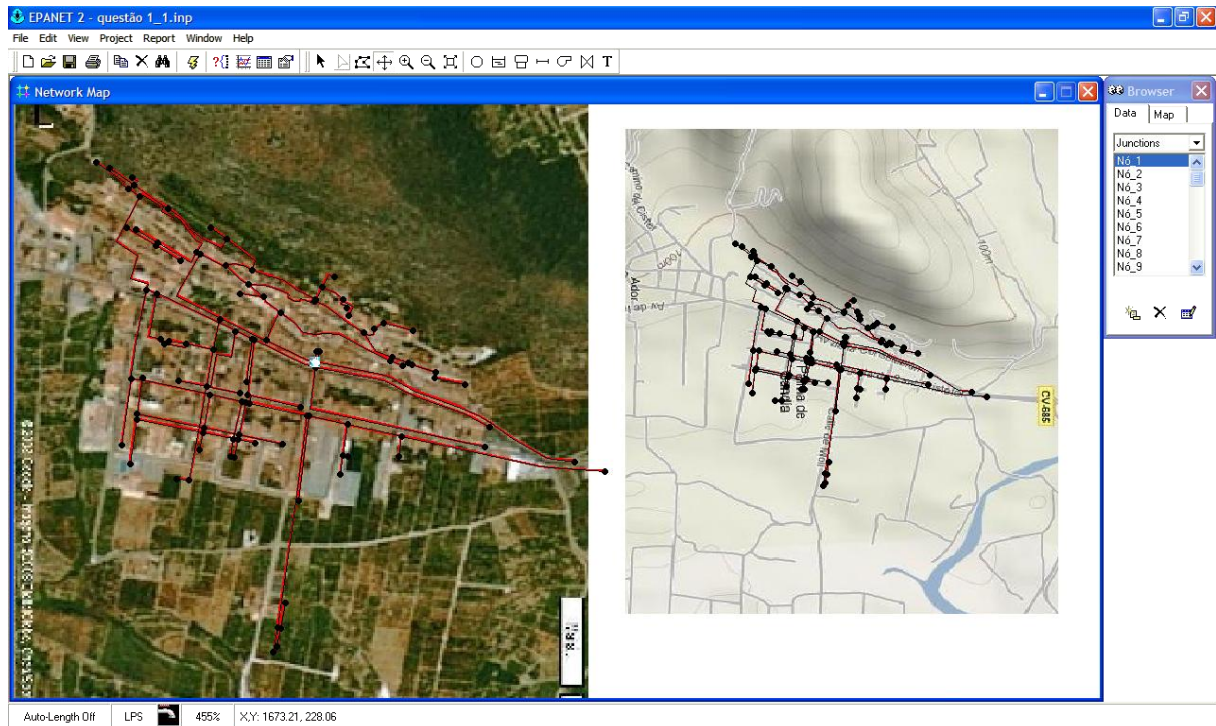


Fig.21 – Exportação da Rede para EPANET com fundos diferentes

### 3.1.2. DXF2EPA

Programa executável, sem necessidade de instalação e gratuito, destinado a importar uma rede de abastecimento desenhada em CAD para o EPANET através de um ficheiro .INP. Passos a seguir:

- a) A rede desenhada em CAD deve ser feita através de linhas ou polilinhas; as linhas serão consideradas e importadas como troços de tubagem rectos e as polilinhas como troços constituídos por n segmentos de recta, com um nó a montante e outro a jusante;
- b) Exportar a rede desenhada em CAD para um ficheiro com extensão DXF no formato Autocad Release 11/12 ASCII;
- c) Através do executável DXF2EPA transformar o ficheiro DXF num ficheiro INP.

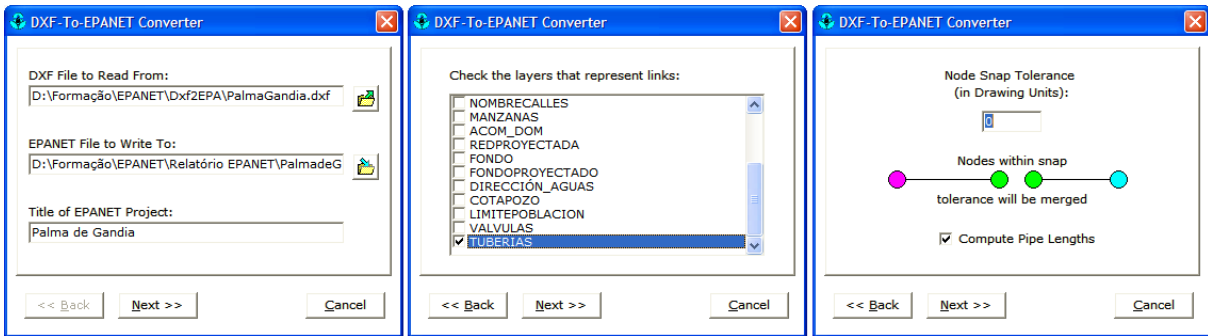


Fig.22 – Utilização DXF2EPA (1)

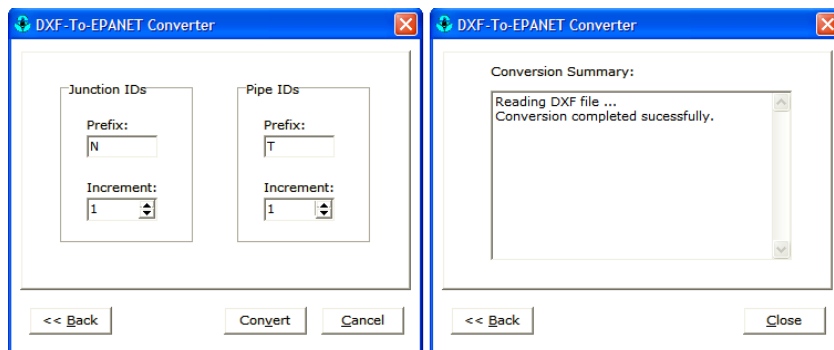


Fig.23 – Utilização DXF2EPA (2)

d) Através do EPANET importar o ficheiro INP criado através do menu File/Import/Network

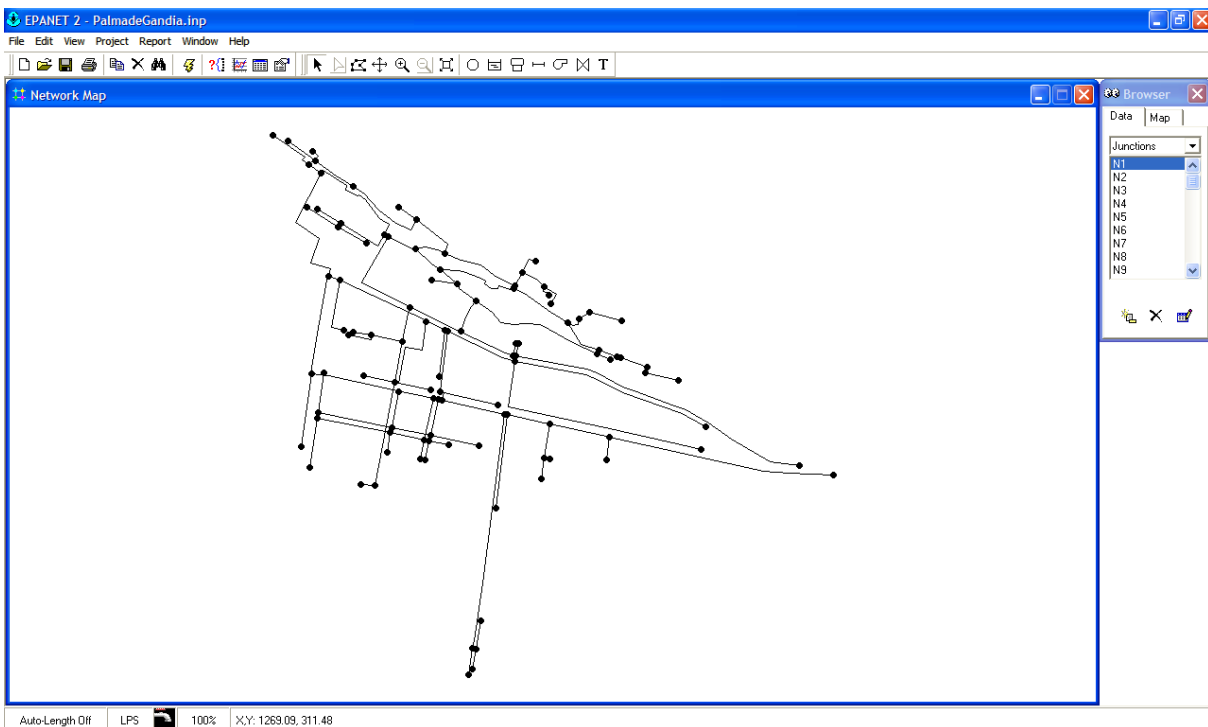


Fig.24 – Importação de ficheiro INP criado pelo DXF2EPA

- e) Por último, devemos verificar se o auto-comprimento (Auto-Length) está on ou off sempre que se queira adicionar novos elementos à rede e alterar para o valor pretendido nos valores por defeito.

### 3.1.3. EASYNETCAD

Este software também permite importar uma rede para o EPANET através de um ficheiro DXF ao mesmo tempo que cria uma base de dados de forma a os manipular de acordo com a análise em causa.

O ambiente gráfico é de fácil utilização e rápido acesso apesar de os seus menus serem em inglês.

O procedimento para criar um ficheiro INP a partir de uma rede em formato DXF Autocad Release 11/12 ASCII é o seguinte:

- a) Abrir o ficheiro DXF pretendido e iniciar o *Preprocess* (pré-processamento) de modo a importar todos os elementos do desenho;

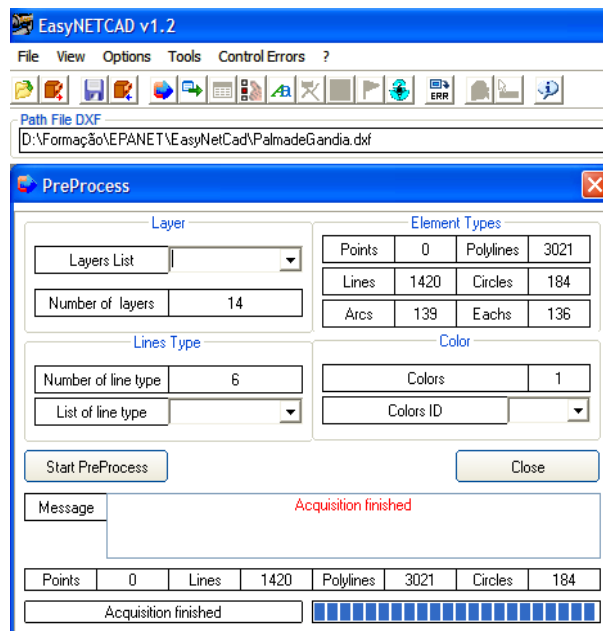


Fig.25 – Pré-processamento no EasyNETCAD

- b) Criação de arquivo que irá conter toda a informação relativa à transformação e importação que se irá executar;

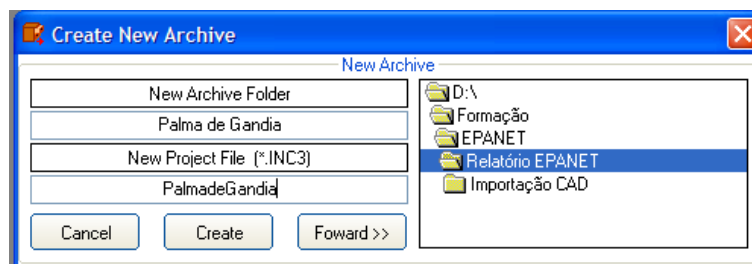


Fig.26 – Criação de arquivo no EasyNETCAD

c) O próximo passo é escolher os *layers* que se pretendem bem como as *labels* (rótulos em texto);

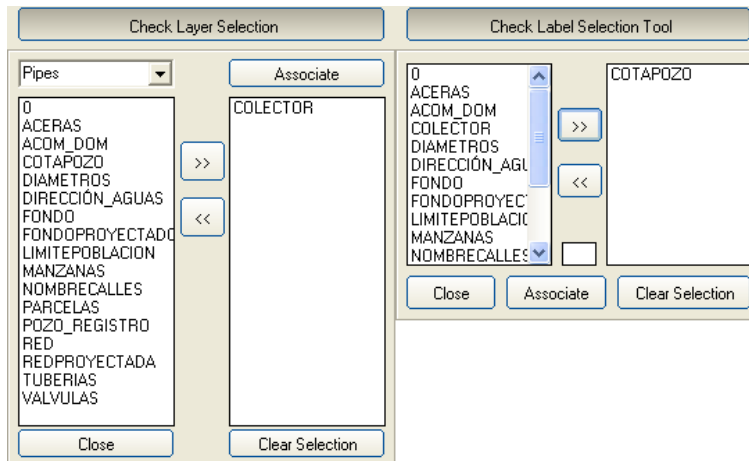


Fig.27 – Escolha de *layers* e *labels* no EasyNETCAD

d) Agora podemos dar início à transformação do ficheiro DXF através do botão

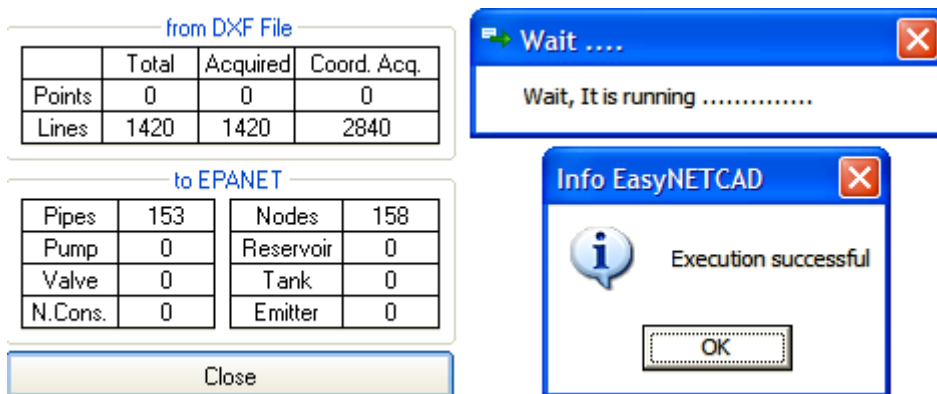


Fig.28 – Execução do EasyNETCAD

e) Após o sucesso da execução já é possível visualizar os respectivos resultados através de uma visualização gráfica ou em forma de tabela; podemos definir as opções da vista gráfica através do menu *Options/Graphic Options*.

f) É possível alterar os valores constantes da tabela, ajustando os necessários e adicionando outros bastando para isso seleccionar a linha (ID) pretendida; elementos como diâmetros e material dos tubos, curvas da bomba e tipos de válvulas podem ser alterados.

g) Este software permite ainda realizar uma interpolação das cotas dos nós ou elementos pontuais através do método *Inverse Weighted Distance* que utiliza os valores da cartografia vectorial do desenho. Utilizar o botão

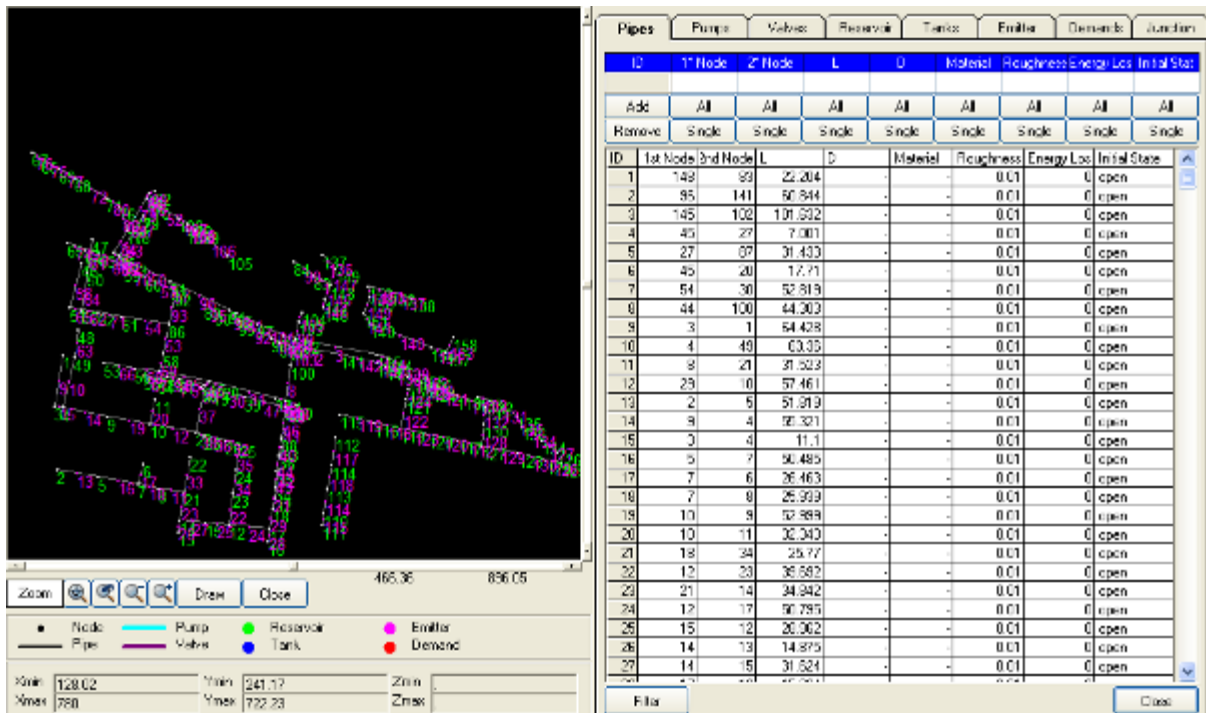


Fig.29 – Visualização de resultados no EasyNETCAD

h) Finalmente é criado o ficheiro INP através do botão Compile File INP ao qual deveremos indicar um nome e localização para posterior importação pelo EPANET.

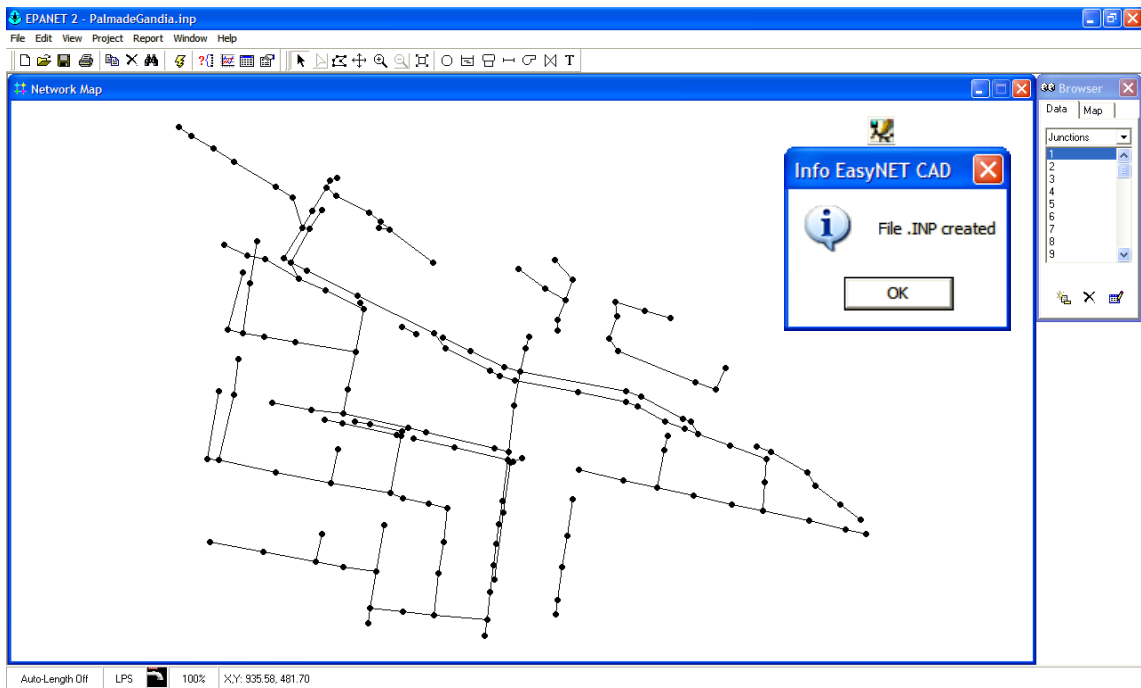


Fig.30 – Importação de ficheiro \*.inp no EPANET

### 3.2. UTILITÁRIOS

#### 3.2.1. EPANET Z

A última versão do EPANET (2.00.12) permite a visualização de mapas online como imagens de fundo sendo, no entanto, necessária a utilização de uma extensão que permite a ligação via internet a sites com esse tipo de informação como, por exemplo, o Google Maps.

Esta primeira versão (beta) apenas suporta mapas online com unidades em graus estando prevista no futuro uma versão que suporte unidades em metros e *feets*.

A visualização e carregamento do mapa são feitos através duma janela de interface com os seguintes controlos:

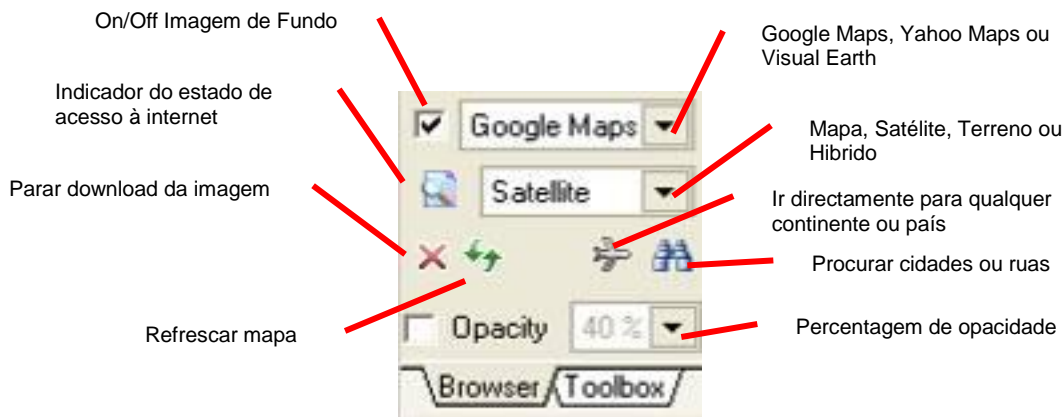


Fig.31 – Menu EPANET-Z

A figura n.º 32 mostra como exemplo uma imagem da zona da F.E.U.P. onde posteriormente inseri uma suposta rede de abastecimento de água e tornando o fundo opaco a 40%; a restante simulação da rede é feita exactamente como se do programa original se tratasse.

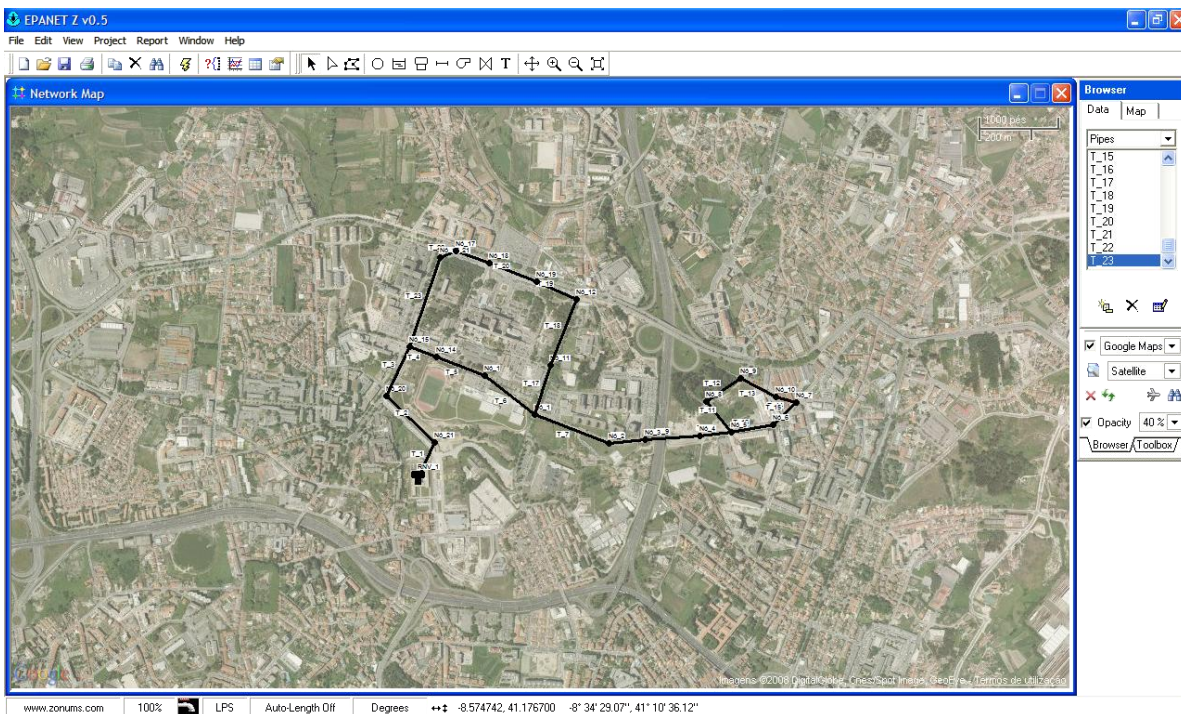


Fig.32 – Exemplo de Rede de Abastecimento (FEUP)

### 3.2.2. EPANET MSX

A componente de análise da qualidade da água numa rede de abastecimento é limitada no EPANET uma vez que este programa apenas simula o transporte e destino de um determinado componente, individualmente. Mas esta lacuna pode ser ultrapassada através de uma extensão criada e desenvolvida para permitir a simulação e análise da qualidade da água de múltiplas espécies químicas. O programa criado é o EPANET Multi-Species Extension e que pode ser obtido gratuitamente através do site da [EPA – Environmental Protection Agency](http://www.epa.gov). O pacote distribuído contém vários elementos úteis, nomeadamente, um manual, como funcionar no sistema operativo Windows e Linux e o código fonte.

As reacções entre as espécies químicas presentes na água podem ocorrer no seio do escoamento ou através do contacto com as paredes das tubagens ou dos reservatórios de nível variável, sendo possível executar simulações para cada caso separadamente. A imagem seguinte é um exemplo retirado do manual do EPANET e que pretende ilustrar estes 2 tipos de reacções:

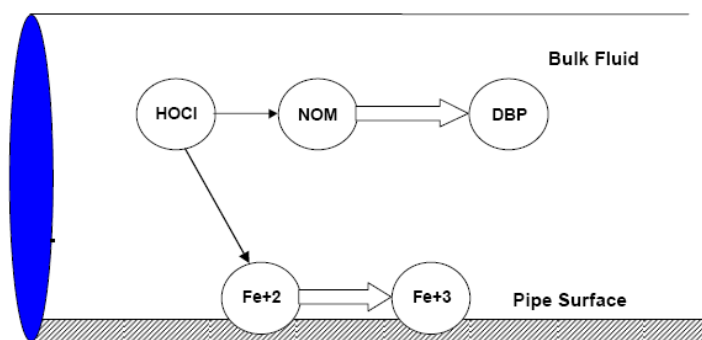


Fig.33 – Exemplo de Reacções Químicas na Água

No seio do escoamento, a fracção de cloro livre (HOCl) reage com a matéria orgânica (NOM – *natural organic matter*) e liberta uma determinada parte para junto da parede do tubo onde irá reagir com o ferro (Fe) libertado por corrosão. De uma maneira geral, os coeficientes de reacção no seio do escoamento e no contacto com as paredes da tubagem podem depender com a temperatura, com a idade da tubagem e com o seu material.

O uso desta extensão necessita de 2 ficheiros:

- Ficheiro \*.inp com a descrição física da rede a ser analisada
- Ficheiro preparado pelo utilizador que descreverá quais os elementos a analisar e o modelo de reacção química, com a extensão \*.msx

Para demonstrar o uso deste programa será executada uma simulação da reacção oxidação/adsorção (fixação de moléculas de líquidos à superfície de outra substância) do arsénico da seguinte rede exemplo:

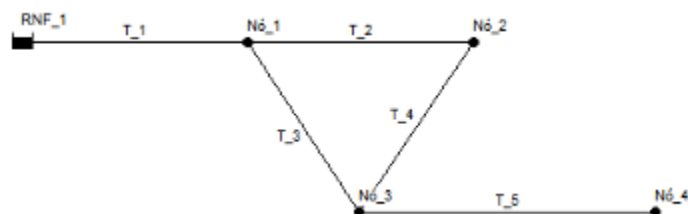


Fig.34 – Rede exemplo para simulação do EPANET-MSX

Quadro 6 – Propriedades dos Nós (MSX)

Nó	Cota (m)	Consumo (l/s)
RNF_1	100	0
1	0	4,1
2	0	3,4
3	0	5,5
4	0	2,3

Quadro 7 – Propriedades dos Troços/Tubos (MSX)

Tubo	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Factor C
1	1000	200	100
2	800	150	100
3	1200	200	100
4	1000	150	100
5	2000	150	100

O primeiro passo será então criar um ficheiro de entrada do EPANET através do menu *File/Export/Network*. Foi atribuído o nome “Cenário\_msx\_001.inp”:

```
[TITLE]
Simulação de análise da qualidade da água

[JUNCTIONS]
;ID      Elev      Demand      Pattern
Nó_1     0           4.1         ;
Nó_2     0           3.4         ;
Nó_3     0           5.5         ;
Nó_4     0           2.3         ;

[RESERVOIRS]
;ID      Head      Pattern
RNF_1    100         ;

[PIPES]
;ID      Node1      Node2      Length      Diameter      Roughness      MinorLoss      Status
T_1      RNF_1      Nó_1      1000        200           100           0             Open
T_2      Nó_1      Nó_2      800         150           100           0             Open
T_3      Nó_1      Nó_3      1200        200           100           0             Open
T_4      Nó_3      Nó_2      1000        150           100           0             Open
T_5      Nó_3      Nó_4      2000        150           100           0             Open

[TIMES]
Duration      48
Hydraulic Timestep  1:00
Quality Timestep   0:05
Report Timestep   2:00
Report Start      0:00
Statistic         None

[OPTIONS]
Units          LPS
Headloss       H-W
Quality        None ; mg/L

[END]
```

Fig.35 – Conteúdo do ficheiro *cenário\_msx\_001.inp*

O passo seguinte já requer o uso de um editor de texto (MS Word, Notepad, Writer do Open Office, etc.) e que deverá ter o seguinte formato:

Quadro 8 – Formato do ficheiro \*.msx

Secções	Descrição
[TITLE]	Titulo da simulação a executar
[OPTIONS]	Define os valores relativos às opções disponíveis
[SPECIES]	Identifica as espécies químicas a serem alvo de análise
[COEFFICIENTS]	Identifica os parâmetros e constantes das taxas químicas nas equações de equilíbrio
[TERMS]	Define os termos intermediários usados nas taxas químicas e nas equações de equilíbrio
[PIPES]	Fornece a taxa e a expressão de equilíbrio para as espécies químicas na tubagem
[TANKS]	Fornece a taxa e a expressão de equilíbrio para as espécies químicas nos reservatórios
[SOURCES]	Identifica a origem das espécies em análise
[QUALITY]	Fornece as condições iniciais para as espécies em análise ao longo da rede
[PARAMETERS]	Permite atribuir parâmetros à tubagem
[PATTERNS]	Define os padrões temporais
[REPORT]	Especifica as opções de relatórios

Foi então criado o ficheiro “cenário\_msx\_001.msx” com a seguinte configuração:

```
[TITLE]
Exemplo de análise da oxidação/adsorção do arsenico

[OPTIONS]
AREA_UNITS M2           ;Surface concentration is mass/m2
RATE_UNITS HR           ;Reaction rates are concentration/hour
SOLVER RK5              ;5-th order Runge-Kutta integrator
TIMESTEP 360            ;360 sec (5 min) solution time step
RTOL 0.001              ;Relative concentration tolerance
ATOL 0.0001             ;Absolute concentration tolerance

[SPECIES]
BULK AS3 UG             ;Dissolved arsenite
BULK AS5 UG             ;Dissolved arsenate
BULK AStot UG           ;Total dissolved arsenic
WALL AS5s UG           ;Adsorbed arsenate
BULK NH2CL MG           ;Monochloramine

[COEFFICIENTS]
CONSTANT Ka 10.0        ;Arsenite oxidation rate coefficient
CONSTANT Kb 0.1         ;Monochloramine decay rate coefficient
CONSTANT K1 5.0         ;Arsenate adsorption coefficient
CONSTANT K2 1.0         ;Arsenate desorption coefficient
CONSTANT Smax 50        ;Arsenate adsorption saturation limit

[TERMS]
Ks K1/K2                ;Equil. adsorption coeff.
```

Fig.36 – Conteúdo do ficheiro cenário\_msx\_001.msx (parte 1)

```

[PIPES]
;Arsenite oxidation
RATE AS3 -Ka*AS3*NH2CL
;Arsenate production
RATE AS5 Ka*AS3*NH2CL - Av*(K1*(Smax-AS5s)*AS5 - K2*AS5s)
;Monochloramine decay
RATE NH2CL -Kb*NH2CL
;Arsenate adsorption
EQUIL AS5s Ka*Smax*AS5/(1+Ks*AS5) - AS5s
;Total bulk arsenic
FORMULA AStot AS3 + AS5

[TANKS]
RATE AS3 -Ka*AS3*NH2CL
RATE AS5 Ka*AS3*NH2CL
RATE NH2CL -Kb*NH2CL
FORMULA AStot AS3 + AS5

[QUALITY]
;Initial conditions (= 0 if not specified here)
NODE RNF_1 AS3 10.0
NODE RNF_1 NH2CL 2.5

[REPORT]
NODES N0_3 N0_4 ;Report results for nodes C and D
LINKS T 5 ;Report results for pipe 5
SPECIE AStot YES ;Report results for each specie
SPECIE AS5 YES
SPECIE AS5s YES
SPECIE NH2CL YES
    
```

Fig.37 – Conteúdo do ficheiro *cenário\_msx\_001.msx* (parte 2)

O passo final será fazer correr o EPANET-MSX; a versão original só permite a execução deste programa através duma linha de comando DOS e que é facilmente acedível através do menu do sistema operativo (Windows) Programas/Acessórios/Linha de Comandos. O mais complicado é mesmo encontrar o ficheiro executável através do ambiente DOS, o que para a maioria dos utilizadores de computadores é um grande obstáculo uma vez que estão habituados a trabalhar com interfaces que lhes permite aceder a qualquer tipo de comando.

Após encontrar o ficheiro *epanetmsx.exe* e lembrando de que os ficheiros atrás criados deverão estar na mesma directoria ou pasta é necessário escrever o seguinte comando:

*Epanetmsx Cenário\_msx\_001.inp Cenário\_msx\_001.msx Cenário\_msx\_001.rpt*

onde *Cenário\_msx\_001.rpt* é o nome do ficheiro de onde se pretende ler os resultados (possível através de um editor de texto). Para o caso em análise e utilizando o comando DOS de acordo com a figura 38 foi possível obter o ficheiro de resultados (ver figura 39).

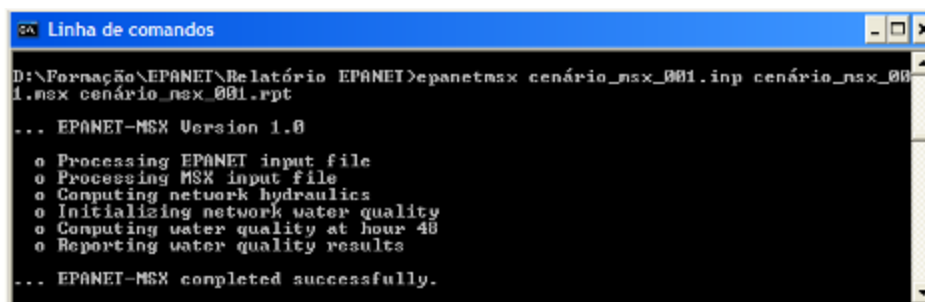


Fig.38 – Linha de comando em DOS para execução do EPANET-MSX

```
*****
*                               E P A N E T                               *
*                               Hydraulic and Water Quality                 *
*                               Analysis for Pipe Networks                   *
*                               Version 2.00.11                             *
*****
```

Simulação de análise da qualidade da água

```
Input Data File ..... cenário_msx_001.inp
Number of Junctions..... 4
Number of Reservoirs..... 1
Number of Tanks ..... 0
Number of Pipes ..... 5
Number of Pumps ..... 0
Number of Valves ..... 0
Headloss Formula ..... Hazen-Williams
Hydraulic Timestep ..... 1.00 hrs
Hydraulic Accuracy ..... 0.001000
Maximum Trials ..... 40
Quality Analysis ..... None
Specific Gravity ..... 1.00
Relative Kinematic Viscosity ..... 1.00
Relative Chemical Diffusivity ..... 1.00
Demand Multiplier ..... 1.00
Total Duration ..... 48.00 hrs
Reporting Criteria:
  No Nodes
  No Links
```

Analysis begun Sun Jun 29 23:07:32 2008

Processing MSX input file cenário\_msx\_001.msx

```
*****
*                               E P A N E T - M S X                           *
*                               Multi-Species Water Quality                 *
*                               Analysis for Pipe Networks                   *
*                               Version 1.0                               *
*****
```

Exemplo de análise da oxidação/adsorção do arsenico

<<< Node Nó\_3 >>>

Time hr:min	As5 UG/L	AsTot UG/L	NH2CL MG/L
0:00	0.00	0.00	0.00
2:00	0.00	0.00	0.18
4:00	9.17	9.17	1.86
6:00	9.17	9.17	1.86
8:00	9.17	9.17	1.86
10:00	9.17	9.17	1.95
12:00	10.03	10.03	1.95
14:00	10.03	10.03	1.95
16:00	10.03	10.03	1.95
18:00	10.03	10.03	1.95
20:00	10.03	10.03	1.95
22:00	10.03	10.03	1.95
24:00	10.03	10.03	1.95
26:00	10.03	10.03	1.95
28:00	10.03	10.03	1.95
30:00	10.03	10.03	1.95
32:00	10.03	10.03	1.95
34:00	10.03	10.03	1.95
36:00	10.03	10.03	1.95
38:00	10.03	10.03	1.95
40:00	10.03	10.03	1.95
42:00	10.03	10.03	1.95
44:00	10.03	10.03	1.95
46:00	10.03	10.03	1.95

48:00	10.03	10.03	1.95	
<<< Node Nô_4 >>>				
Time hr:min	ASS UG/L	AStot UG/L	NH2CL MG/L	
0:00	0.00	0.00	0.00	
2:00	0.00	0.00	0.00	
4:00	0.00	0.00	0.00	
6:00	0.00	0.00	0.00	
8:00	9.17	9.17	1.22	
10:00	9.17	9.17	1.22	
12:00	9.17	9.17	1.22	
14:00	9.17	9.17	1.27	
16:00	10.03	10.03	1.27	
18:00	10.03	10.03	1.27	
20:00	10.03	10.03	1.27	
22:00	10.03	10.03	1.27	
24:00	10.03	10.03	1.27	
26:00	10.03	10.03	1.27	
28:00	10.03	10.03	1.27	
30:00	10.03	10.03	1.27	
32:00	10.03	10.03	1.27	
34:00	10.03	10.03	1.27	
36:00	10.03	10.03	1.27	
38:00	10.03	10.03	1.27	
40:00	10.03	10.03	1.27	
42:00	10.03	10.03	1.27	
44:00	10.03	10.03	1.27	
46:00	10.03	10.03	1.27	
48:00	10.03	10.03	1.27	
<<< Link T_5 >>>				
Time hr:min	ASS UG/L	AStot UG/L	ASSs UG/M2	NH2CL MG/L
0:00	0.00	0.00	0.00	0.00
2:00	0.00	0.00	-0.00	0.00
4:00	3.08	3.08	16.35	0.78
6:00	6.71	6.71	35.69	1.44
8:00	9.17	9.17	48.93	1.52
10:00	9.17	9.17	48.93	1.55
12:00	9.48	9.48	48.96	1.58
14:00	9.88	9.88	49.00	1.60
16:00	10.03	10.03	49.02	1.60
18:00	10.03	10.03	49.02	1.60
20:00	10.03	10.03	49.02	1.60
22:00	10.03	10.03	49.02	1.60
24:00	10.03	10.03	49.02	1.60
26:00	10.03	10.03	49.02	1.60
28:00	10.03	10.03	49.02	1.60
30:00	10.03	10.03	49.02	1.60
32:00	10.03	10.03	49.02	1.60
34:00	10.03	10.03	49.02	1.60
36:00	10.03	10.03	49.02	1.60
38:00	10.03	10.03	49.02	1.60
40:00	10.03	10.03	49.02	1.60
42:00	10.03	10.03	49.02	1.60
44:00	10.03	10.03	49.02	1.60
46:00	10.03	10.03	49.02	1.60
48:00	10.03	10.03	49.02	1.60
Analysis ended Sun Jun 29 23:07:33 2008				

Fig.39 – Resultados da simulação através do EPANET-MSX

Hoje em dia já existe uma forma de ultrapassar o obstáculo de se ter de trabalhar a partir do DOS através da utilização de um pequeno programa que serve de interface gráfico entre o utilizador e o EPANET-MSX. Este pequeno utilitário que não precisa de ser instalado foi criado pela Zonum Solutions e pode ser obtido através do seu site em <http://www.zonums.com/home.html>.

Após a criação dos ficheiros \*.inp e \*.msx já descritos basta iniciar o ficheiro executável *MSXGUI.exe* e escolher os ficheiros pretendidos para a simulação através de uma pequena janela:

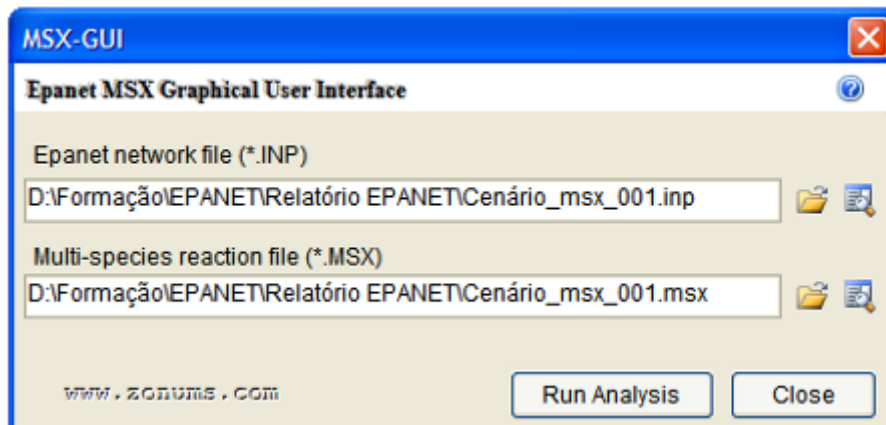


Fig.40 – Interface gráfico para o EPANET-MSX

Após a indicação da localização dos ficheiros faz-se correr a simulação (Run Analysis) e os resultados são imediatamente mostrados através de nova janela que permite guardar os resultados como um ficheiro \*.txt ou \*.csv (MS Excel):

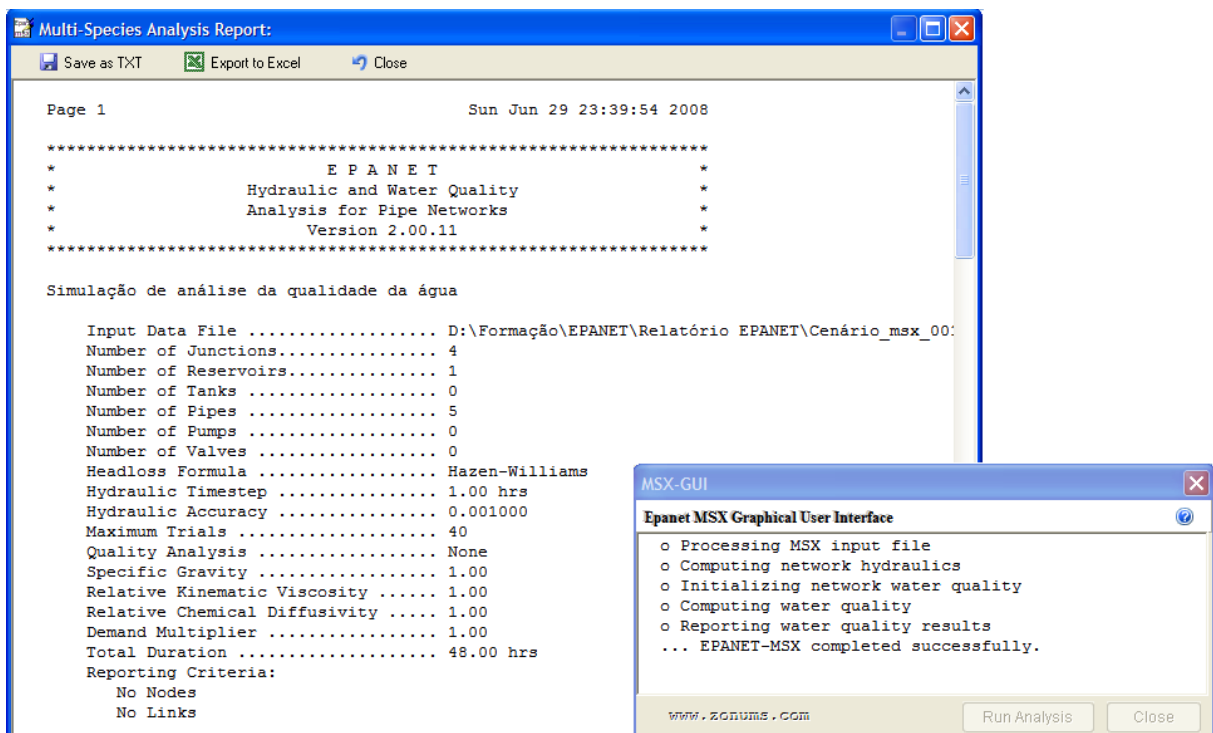


Fig.41 – Simulação bem sucedida no EPANET-MSX

Provavelmente o interface MSXGUI não correrá sem a instalação de alguns ficheiros \*.bpl que poderão ser encontrados em <http://www.zonums.com/library/blpfile.html>.

### 3.2.3. EPAGEO

Trata-se de uma aplicação online, através do site <http://www.zonums.com/online/epanet/epageo>, e que permite a conversão das unidades de um ficheiro \*.inp ou simples coordenadas:

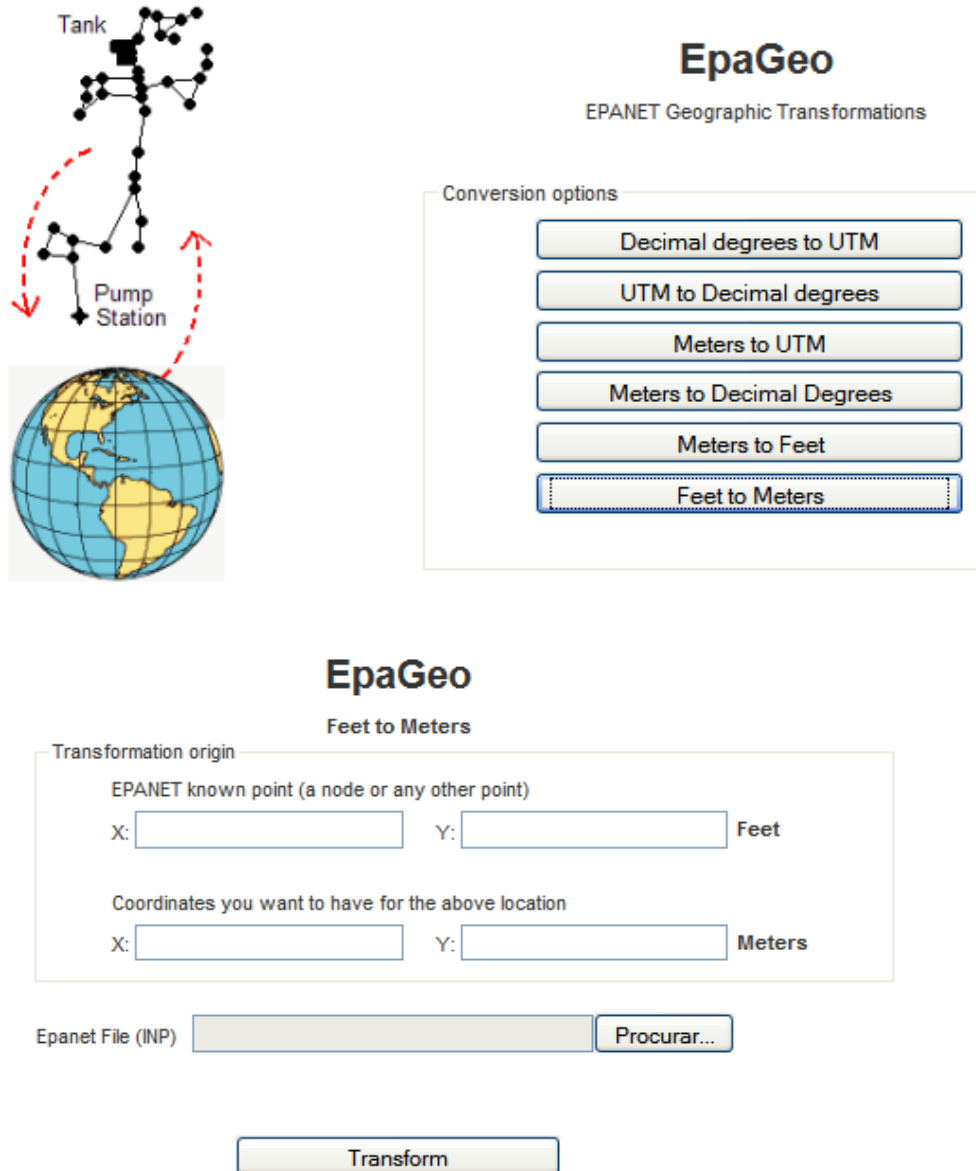


Fig.42 – Introdução de dados no EpaGeo

### 3.2.4. EPAMOVE

Mais uma ferramenta online (<http://www.zonums.com/epamove.html>) onde se pode mover os objectos de uma determinada rede desenhada no EPANET, segundo as suas coordenadas x e/ou y; o utilitário necessita da informação relativa à nova posição do elemento e do respectivo ficheiro da rede \*.inp e calcula todas as novas extensões que derivam desta alteração.

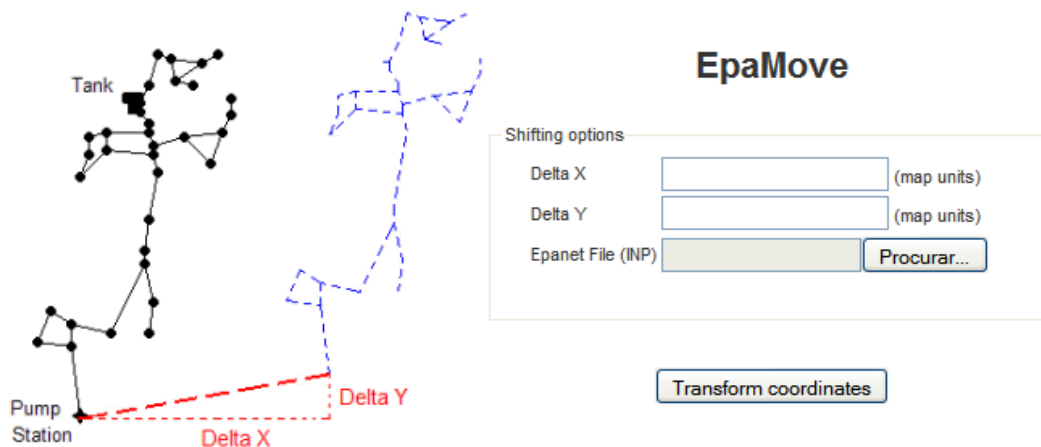


Fig.43 – Introdução de dados no EpaMove

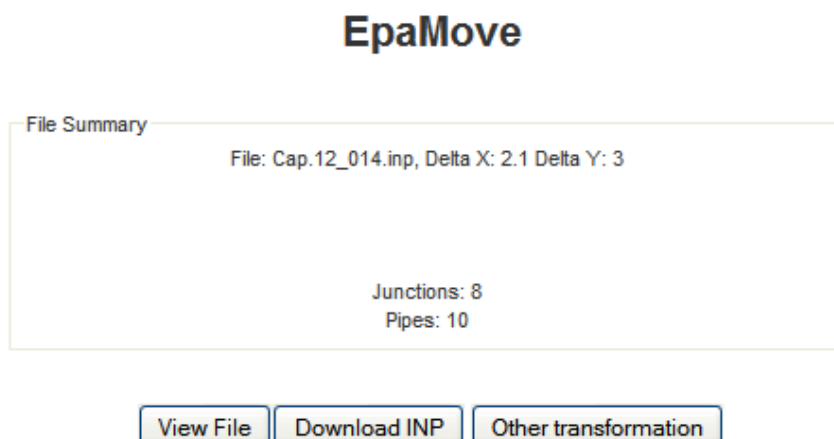


Fig.44 – Resultados da transformação no EpaMove

No final é possível gravar o ficheiro resultante, um novo ficheiro de rede \*.inp.

### 3.2.5. EPAROTATE

Semelhante à ferramenta anterior com a diferença de que este recurso transforma as novas coordenadas em função de uma rotação da rede desenhada no EPANET.

Para esta operação é necessário indicar qual o ponto de rotação, um ângulo em graus e o ficheiro da rede \*.inp.. O resultado final também pode ser guardado no formato \*.inp.

Disponível em <http://www.zonums.com/online/epanet/eparotate.html>

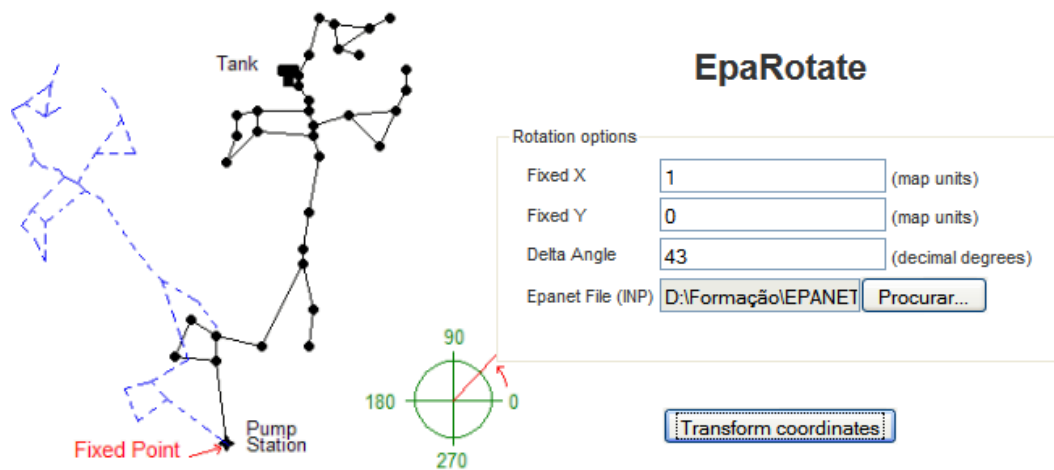


Fig.45 – Introdução de dados no EpaRotate

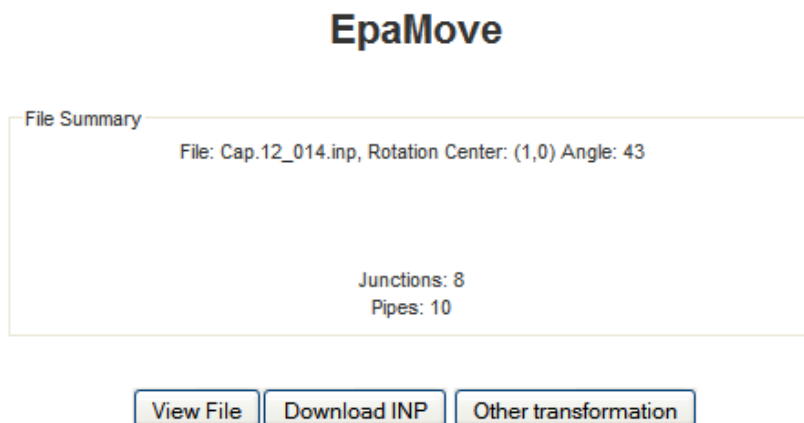


Fig.46 – Resultados da transformação no EpaRotate

# 4

## ALGUNS CASOS ESPECIAIS

### 4.1. COMO ANALISAR AS CONDIÇÕES DE COMBATE A INCÊNDIO NUM NÓ PARTICULAR

Podemos estimar a máxima pressão disponível num determinado nó da rede se adicionarmos o caudal de combate a incêndio ao seu consumo normal.

Por exemplo, se o grau de risco for 3 (zona urbana com construções com um máximo de 10 pisos e destinadas a habitação), necessitamos de um caudal instantâneo de 30 l/s.

O exemplo apresentado corresponde a uma simulação executada para estimar a pressão disponível no Nó 2.

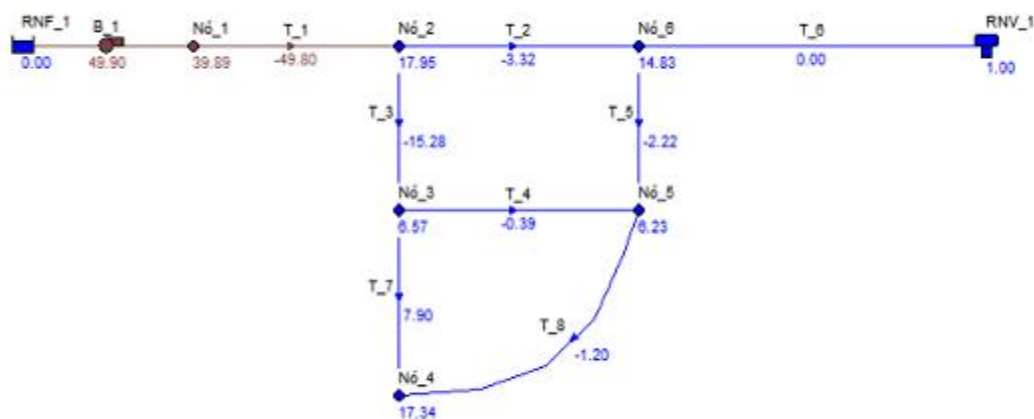


Fig.47 – Pressão disponível no Nó 2 para Combate a Incêndio

Se em vez da pressão quiséssemos estimar o máximo caudal disponível num nó bastaria configurar o coeficiente do dispositivo emissor no nó em análise para um valor elevado de caudal (por exemplo, 100 vezes o caudal máximo expectável) e adicionar à cota do nó a altura piezométrica requerida.

Voltamos a analisar o Nó 2 e o caudal de combate a incêndio disponível é igual ao consumo corrente

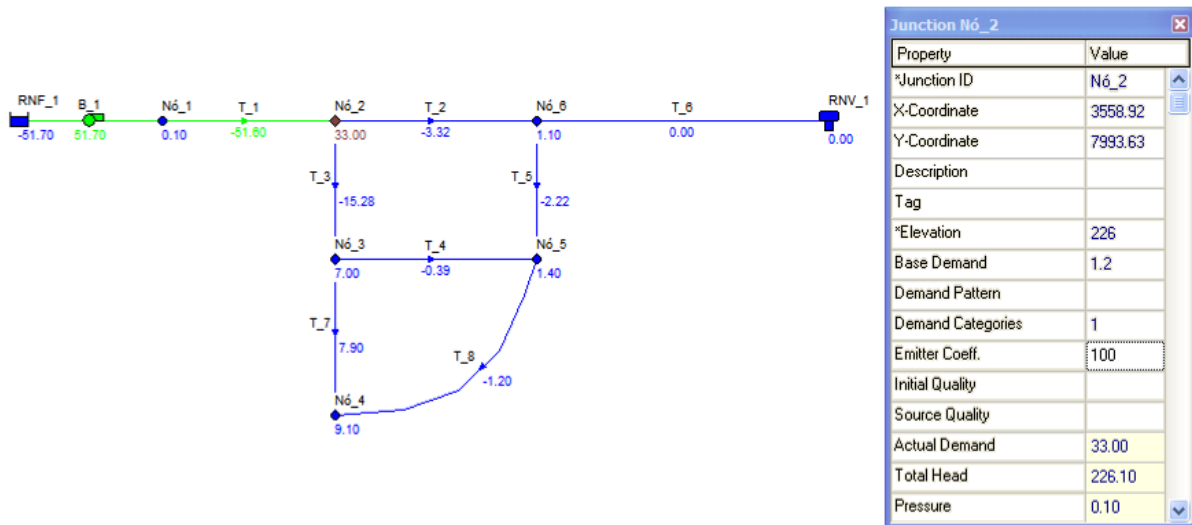


Fig.48 – Caudal disponível no Nó 2 para Combate a Incêndio

#### 4.2. MODELAÇÃO DE ENTRADA DE ÁGUA NUM RESERVATÓRIO A COTA FIXA

Suponhamos que tenho um reservatório à cota 90 e que pretendo que a entrada de água seja feita à cota 95.

Para efectuar esta simulação no EPANET é necessário utilizar alguns elementos fictícios, nomeadamente:

- Introdução de uma válvula de alívio (PSV) na tubagem de entrada do reservatório com o mesmo diâmetro da tubagem real permitindo, deste modo, que a pressão na entrada da válvula se mantenha;
- Incluir um pequeno troço de tubagem entre a válvula e o reservatório com um elevado diâmetro permitindo obter perdas de carga desprezáveis (fictícia);
- As cotas dos nós das extremidades da válvula devem ser iguais às cotas da tubagem real;
- O parâmetro de controlo da válvula (*Setting*) deverá ser 0, igual à diferença de pressão entre montante e jusante
- Estado da válvula deverá ser *None*.

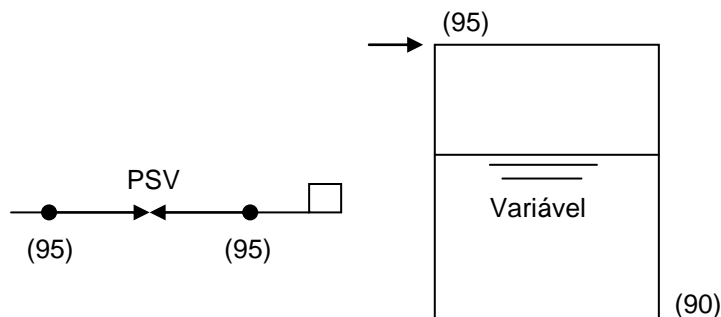


Fig.49 – Reservatório a cota fixa

### 4.3. INTRODUÇÃO DE BOMBAS HIDRÁULICAS

As bombas são elementos físicos inseridos numa rede de abastecimento de água com o objectivo de introduzir energia no escoamento de modo a que este consiga atingir uma determinada cota ou velocidade.

Para as utilizarmos no EPANET necessitamos de inserir, pelo menos, os seguintes dados:

- Cotas do nó inicial e final;
- Curva da bomba.

A definição das condições de funcionamento de uma bomba para uma dada velocidade é dada pela sua curva característica que relaciona a sua altura de elevação – energia fornecida ao escoamento - com o caudal. No EPANET temos 3 opções de introdução de dados para definição desta curva:

- Curva com um só ponto – é suficiente a introdução de um par de valores caudal/altura de elevação referente ao ponto óptimo de funcionamento da bomba; o programa irá adicionar automaticamente mais 2 pontos à curva: um para o caudal nulo, onde desliga a bomba e a carga é igual 133% da carga nominal e o segundo ponto para uma altura de elevação nula e onde o caudal é o dobro do caudal nominal.
- Curva com três pontos – fornecer ao programa o par de valores para o ponto de caudal mínimo, para o ponto de caudal nominal (ponto óptimo de funcionamento) e para o ponto de caudal máximo. De seguida o EPANET define a forma da curva através da expressão:

$$h_G = A - B \times q^c \quad (16)$$

$h_G$  – altura de elevação

$q$  – caudal

$A, B$  e  $C$  – constantes

- Curva com múltiplos pontos – se forem fornecidos mais do que 4 pares de valores caudal/altura de elevação.

O exemplo prático que a seguir é apresentado utiliza parte do esquema do subcapítulo anterior e o que se pretende é transportar um determinado caudal (30 l/s) de um reservatório de nível fixo à cota 0 (zero) para um reservatório de nível variável à cota 90, utilizando para isso uma bomba.

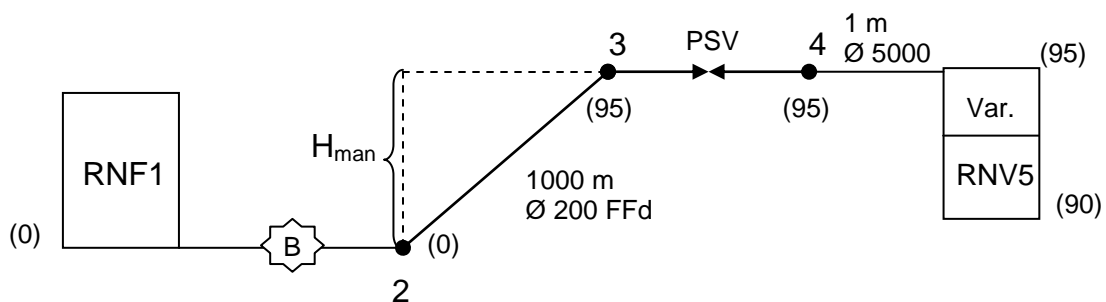


Fig.50 – Esquema da rede com bomba hidráulica

A rede é, então, desenhada no EPANET e o par de valores a fornecer para a curva da bomba é 30 l/s para o (caudal) e 100 m para a carga hidráulica, valor este suficiente para vencer o desnível ( $H_{man}$ ) entre os reservatórios.

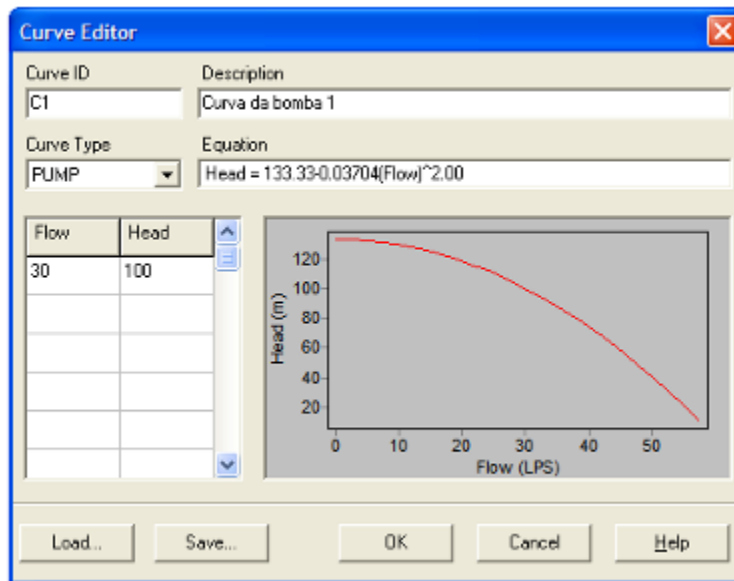


Fig.51 – Curva da bomba 1

A válvula utilizada é uma válvula de alívio (PSV) com um parâmetro de controlo igual a 0.

Após fazer correr a simulação e gravado o ficheiro (*bombadesnivelfixo.net*) é possível analisar os resultados e verificar que a bomba introduzida no sistema permite elevar o caudal pretendido até ao RNV.

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
Junc 2	0.00	99.49	99.49	0.00
Junc 3	0.00	95.00	0.00	0.00
Junc 4	0.00	92.00	-3.00	0.00
Resvr RNF1	-30.23	0.00	0.00	0.00
Tank RNV5	30.23	92.00	2.00	0.00

Fig.52 – Tabela de resultados nos Nós para entrada de água a cota fixa

Link ID	Length m	Diameter mm	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km
Pipe T1	1000	200	30.23	0.96	4.49
Pipe T2	1	5000	-30.23	0.00	0.00
Pump B	#N/A	#N/A	30.23	0.00	-99.49
Valve V3	#N/A	200	30.23	0.96	3.00

$H_{man}$

Fig.53 – Tabela de resultados nos Troços para entrada de água a cota fixa

#### 4.4. CONSUMO DE ENERGIA ELÉCTRICA

Através do EPANET é também possível calcular os valores de energia de bombagem bem como o respectivo custo sendo necessário fornecer alguns elementos, tais como:

- Rendimento da bombagem em %
- Preço do KWh
- Padrão do preço – representação temporal da variação do preço da energia
- Tarifa de consumo máximo

Para exemplificar atribuí à bomba da rede do ponto anterior um preço para a energia igual a 0,06 €/KWh.

A saída de dados é feita em forma de relatório acessível através do menu *Report/Energy*:

Pump	Percent Utilization	Average Efficiency	Kw-hr /m3	Average Kwatts	Peak Kwatts	Cost /day
B	100.00	75.00	0.36	39.31	39.31	56.60
Total Cost						56.60
Demand Charge						0.00

Fig.54 – Relatório de Energia (tabela)

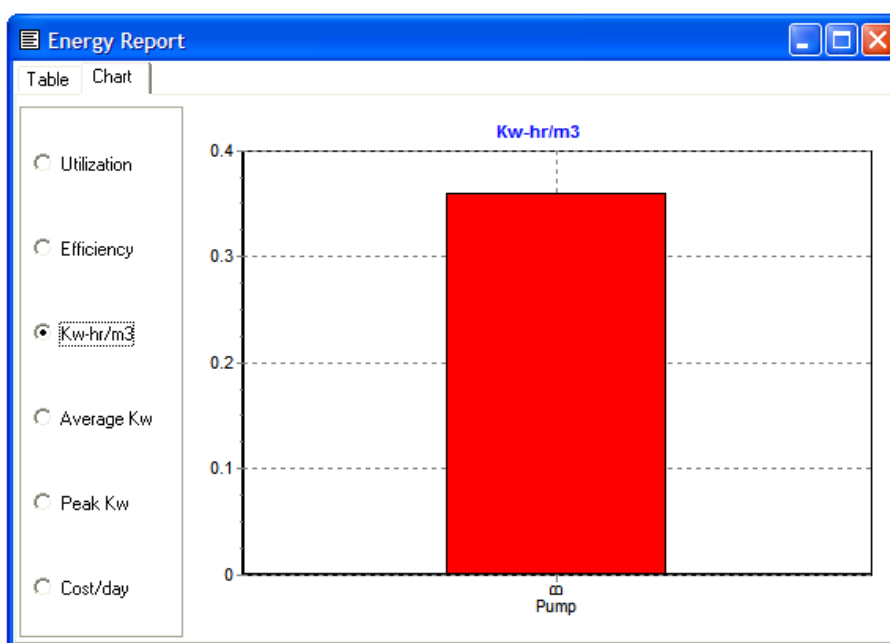


Fig.55 – Relatório de Energia (gráfico)

#### 4.5. COMO DIMENSIONAR UMA BOMBA PARA UM CAUDAL ESPECIFICO

O cenário é semelhante ao esquema definido no ponto anterior mas com as seguintes modificações:

- Remoção da bomba e alteração da cota do RNF para 220 m
- Inclusão de um tubo entre o RNF e o Nó 1 com as mesmas propriedades do Tubo 1

Ao executar uma simulação estática e visualizando as pressões nos nós deparamo-nos com situações de pressões negativas em muitos dos nós da rede.

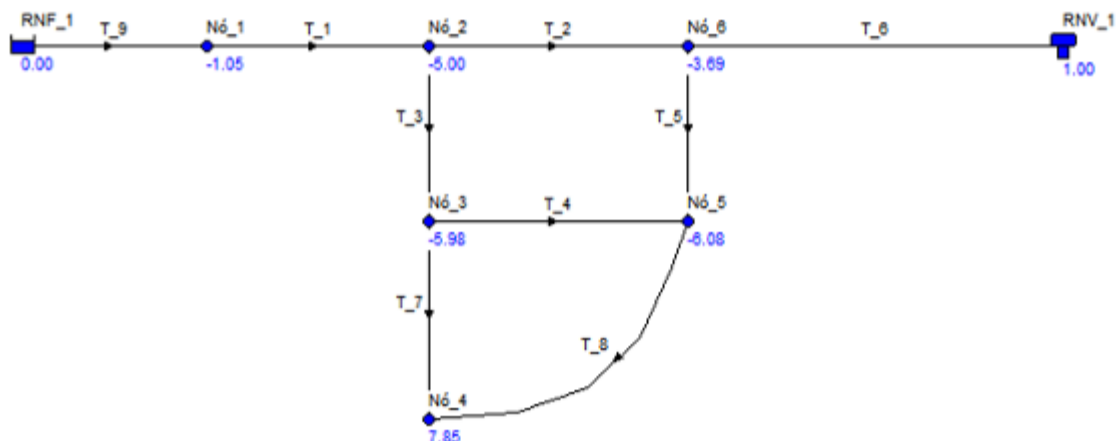


Fig.56 – Pressões Negativas nos Nós

Suponhamos, então, que necessitamos de bombear 30 l/s de modo a ter a rede com um bom funcionamento. Adicionamos uma bomba entre o Nó 1 e o Nó 2, com a curva característica definida no capítulo 2 e com o seu estado “fechado”. No nó de aspiração da bomba (Nó 1) adiciono um consumo igual ao caudal que pretendo bombear e no Nó 2 (nó de compressão) atribuo-lhe um consumo negativo com o mesmo valor.

Faço correr a simulação (estática) e a diferença entre as alturas de elevação dos nós 1 e 2 será o valor de que necessito para configurar a curva característica da bomba.

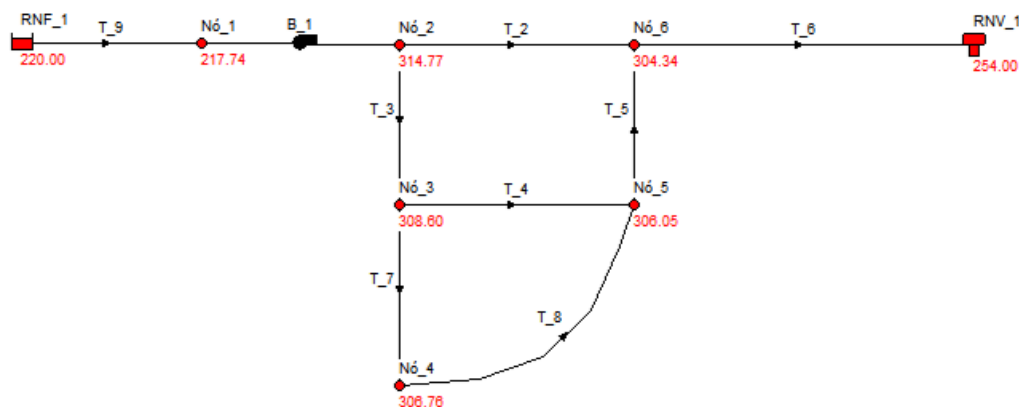


Fig.57 – Altura de Elevação nos Nós

Assim, configurou-se a curva da bomba com 30 l/s e 97,03 m e executou-se novamente a simulação não esquecendo de “abrir” a bomba.

#### 4.6. COMO DIMENSIONAR UMA BOMBA PARA UMA ALTURA DE ELEVAÇÃO ESPECIFICA

Substituindo a bomba da questão anterior por uma válvula de perda de carga fixa (VPCF ou PBV), orientada do Nó 2 para o Nó 1 e utilizando como parâmetro de controlo a altura de elevação pretendida (97 m) obtemos um valor para o caudal que escoa através da válvula.

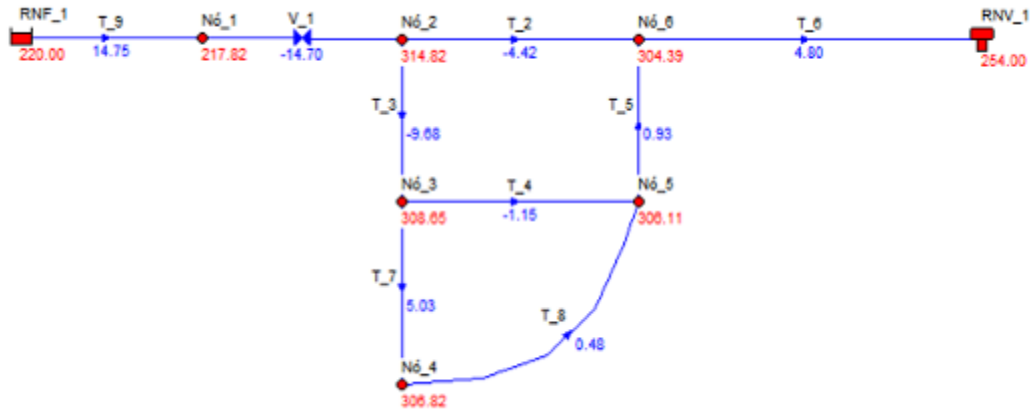


Fig.58 – Caudal através de Válvula de Perda de Carga Fixa

Agora, se substituir a válvula por uma bomba e a configurar com 14,70 l/s e 97 m, obtemos exactamente os mesmos valores da simulação inicialmente feita.

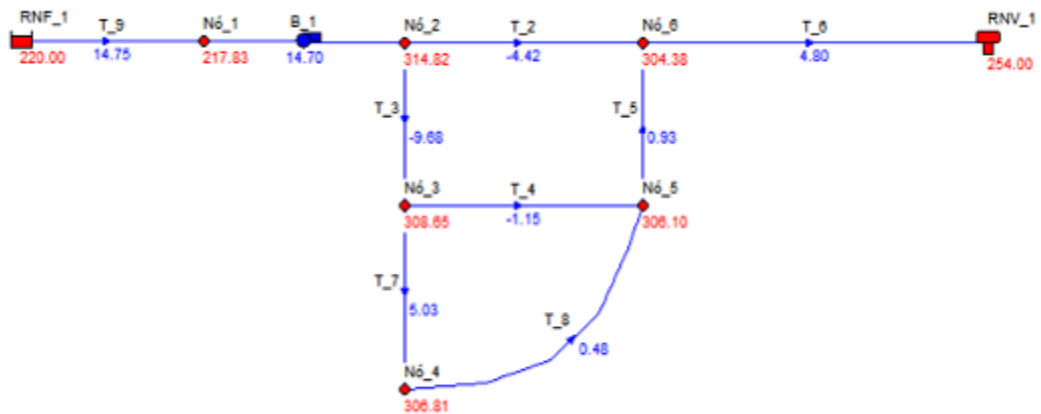


Fig.59 – Simulação com bomba

#### 4.7. COMO MODELAR A BOMBAGEM DE CAUDAL A PARTIR DE UM POÇO

O modelo utilizado é a rede esquematizada no capítulo 2 e representando o poço como um reservatório de nível fixo com água à cota piezométrica do poço.

Foram adicionadas as características da bomba bem como a definição do padrão temporal para a execução da simulação dinâmica.

A figura seguinte mostra a velocidade nos troços e a altura de elevação nos nós para as primeiras 12 horas de simulação:

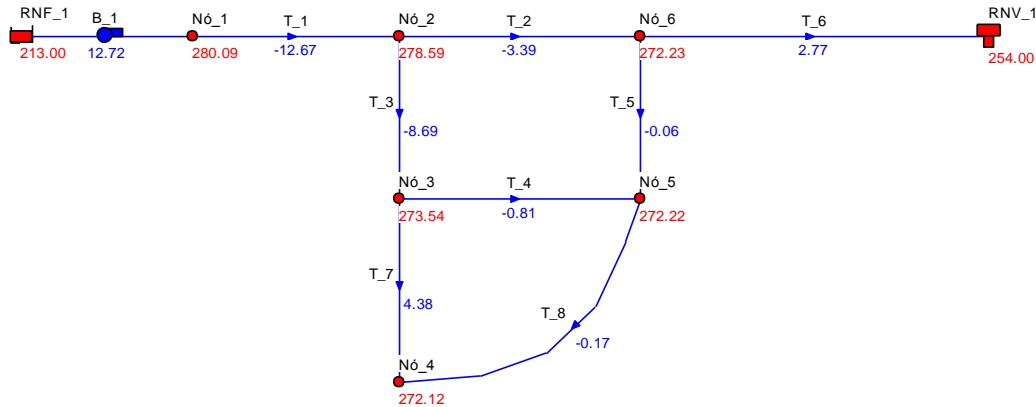


Fig.60 – Esquema da rede para simulação dinâmica de bombagem a partir de um poço

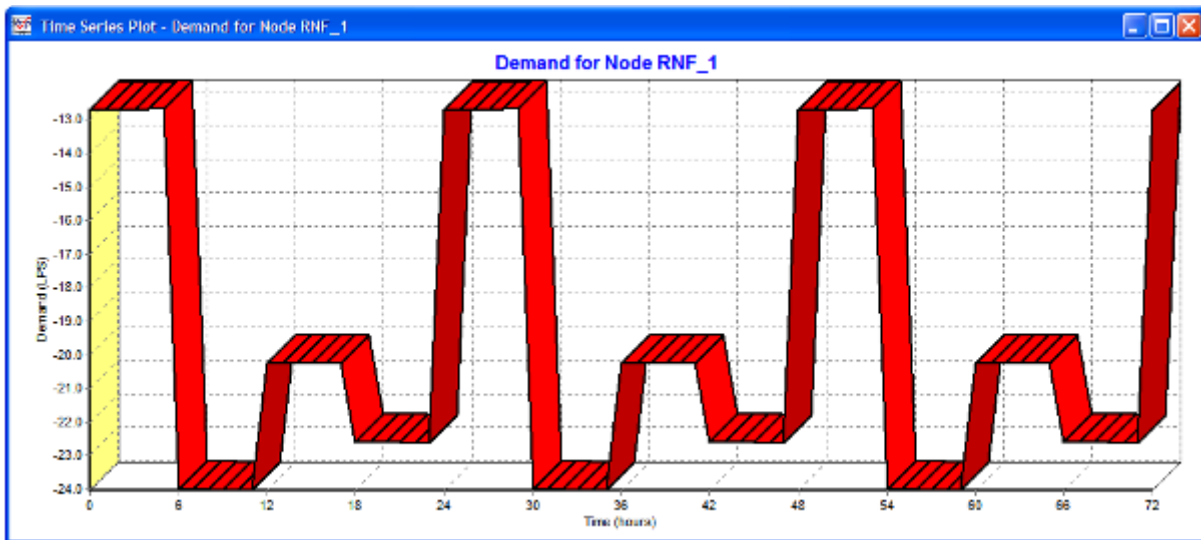


Fig.61 – Resultado no RNF1 da simulação de bombagem de caudal de um poço

#### 4.8. COMO MODELAR UM RESERVATÓRIO HIDROPNEUMÁTICO

Considere-se o reservatório hidropneumático representado na figura 62, o qual contém água em comunicação com o sistema de abastecimento e ar sob pressão na parte superior.

Quando o reservatório está quase vazio permite que o ar no seu interior se expanda, diminuindo a pressão. Nessa altura, um pressostato (instrumento de medição de pressão utilizado como componente do sistema de protecção do equipamento) emite um sinal que faz arrancar a bomba (*on*).

Então o reservatório começa a encher comprimindo a almofada de ar que ao atingir a pressão máxima pretendida emite um outro sinal, desta vez para desligar a bomba (*off*). O volume útil é, assim, o volume de água que comanda o arranque e a paragem da bomba, sendo o elemento fundamental do sistema.

Há que o reproduzir no EPANET como um RNV em que a altura máxima de água corresponde à  $P_{máx} - P_{mín}$  (com as pressões expressas em m.c.a.). Para ter um volume  $V_u$ , a área desse RNV será dada por:

$$Área = \frac{V_u}{P_{máx} - P_{mín}} \quad (17)$$

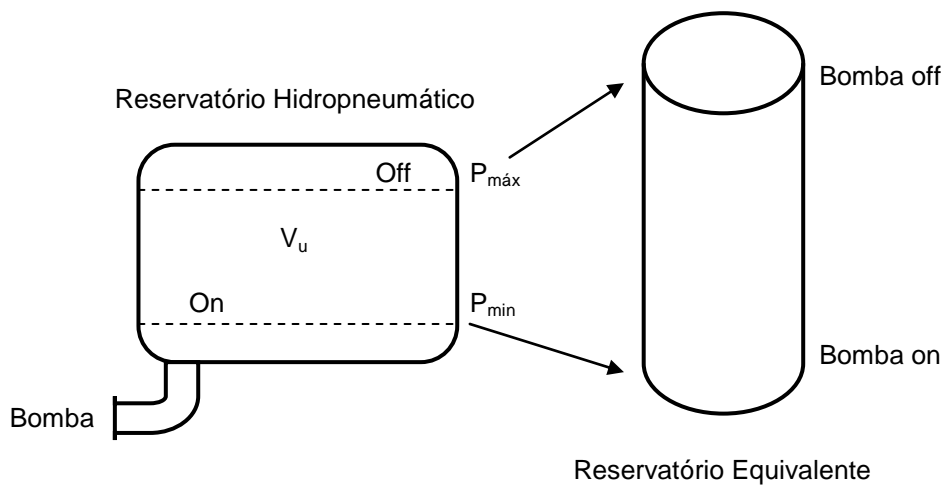


Fig.62 – Modelação de um reservatório hidropneumático

#### 4.9. QUALIDADE DA ÁGUA

##### 4.9.1. IDADE DA ÁGUA

É possível seguir o crescimento da idade da água ao longo da rede e ao longo do tempo através do seguinte processo:

- Seleccionar Idade como parâmetro nas opções de Qualidade
- A condição inicial por defeito em todos os nós é idade igual a 0 (zero)
- Executar a simulação e seleccionar Idade como parâmetro a visualizar no mapa

- Podemos também criar um gráfico de variação da Idade da Água com o tempo, por exemplo, no RNV

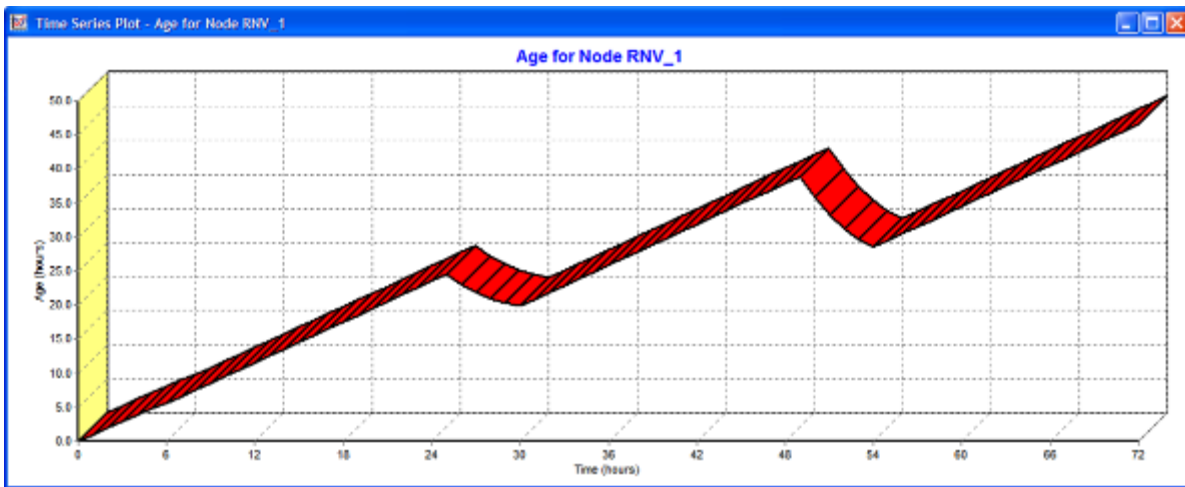


Fig.63 – Variação da Idade da Água no RNV para 72h

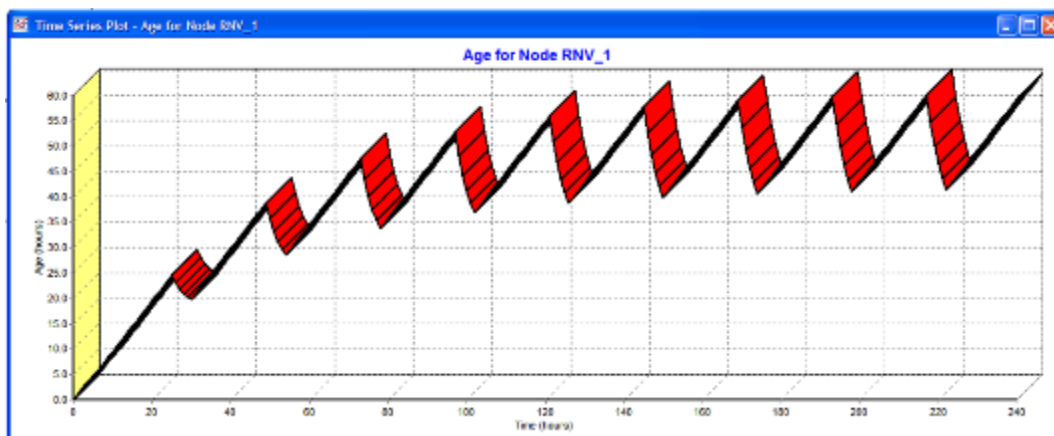


Fig.64 – Variação da Idade da Água no RNV para 240h

#### 4.9.2. DECAIMENTO E TRANSPORTE DO CLORO

O decaimento do cloro no seio de um escoamento deriva das reacções que ocorrem entre as diferentes espécies químicas que a água contém e para efectuar este tipo de análise deveremos seguir os seguintes passos:

- No editor de propriedades da Qualidade escrever a palavra “Cloro” no campo destinado ao parâmetro
- Introduzir o valor -2.5 para o coeficiente de reacção no seio do escoamento (*Global Bulk Coefficient*) na janela das opções para as Reacções; este valor traduzirá a taxa de decaimento do cloro devido às reacções ao longo do tempo e é atribuído a todas as tubagens; em alternativa, também se pode definir uma taxa para cada troço de tubagem

- O parâmetro relativo ao coeficiente de reacção nas paredes (*Global Wall Coefficient*) é igual a zero uma vez que consideramos que não existem reacções entre a água e o material das paredes da tubagem ou do RNV
- Definimos que a qualidade inicial no RNF é igual 1 correspondendo à concentração de cloro que entra de modo contínuo na rede
- Manter a qualidade inicial do RNV igual a zero
- Após executar a simulação criamos um relatório seleccionando *Report/Reaction*; o gráfico obtido mostra a quantidade de cloro perdida nas tubagens relativamente ao RNV (em termos médios).

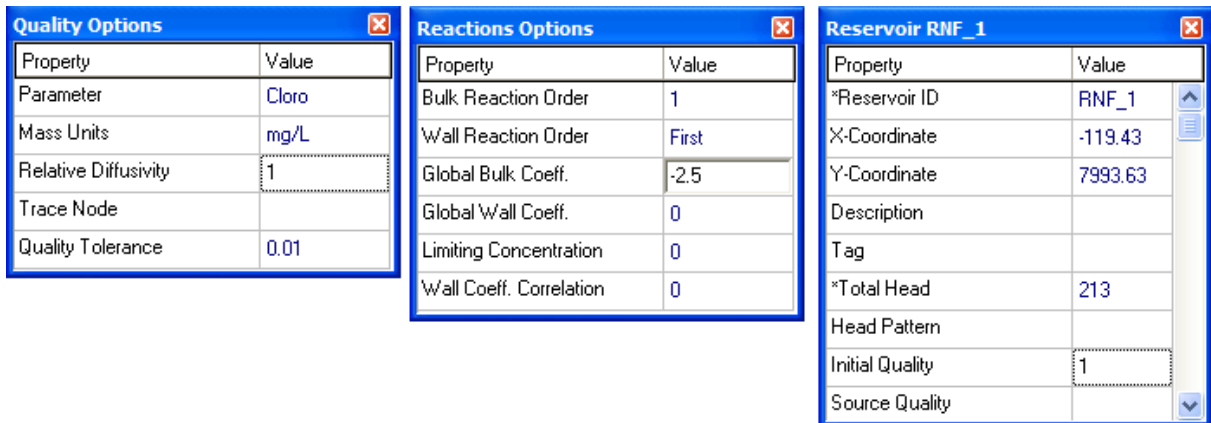


Fig.65 – Configuração das Opções para simulação da Qualidade da Água

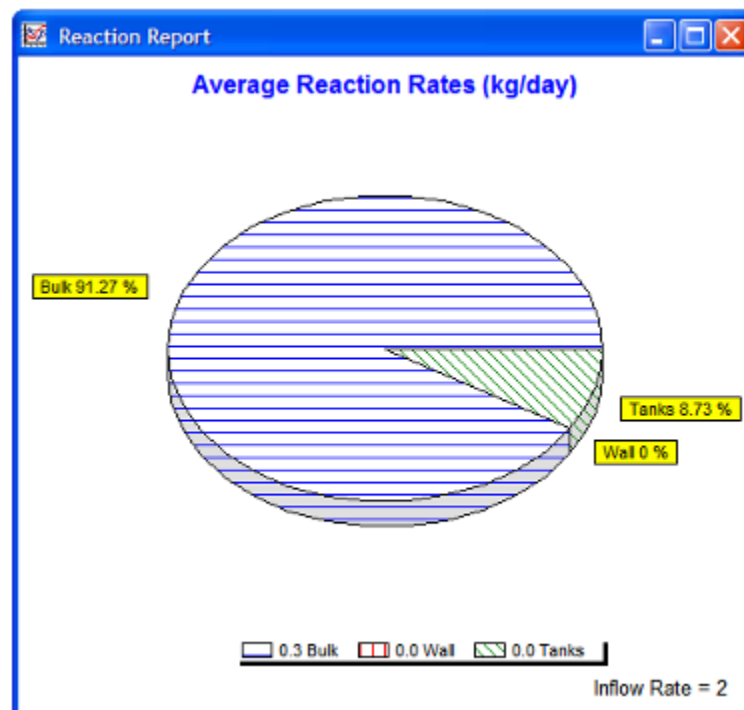


Fig.66 – Resultados da simulação para análise ao Cloro

## 4.10. COMO MODELAR UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO ADICIONAL PARA REFORÇO DOS NÍVEIS DE CLORO NA REDE

### 4.10.1. FIXAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO

Coloca-se a estação de tratamento adicional num nó com consumo nulo ou positivo ou no RNV e seleccionamos para esse ponto:

- Tipo de Origem: Fixação da Concentração (*Flow Paced Booster*)
- Origem da Qualidade = 1 (valor da concentração de cloro com que o escoamento deverá sair desse nó)

Os resultados podem ser vistos através de gráficos temporais e para a simulação no nosso modelo utilizamos o Nó 1:

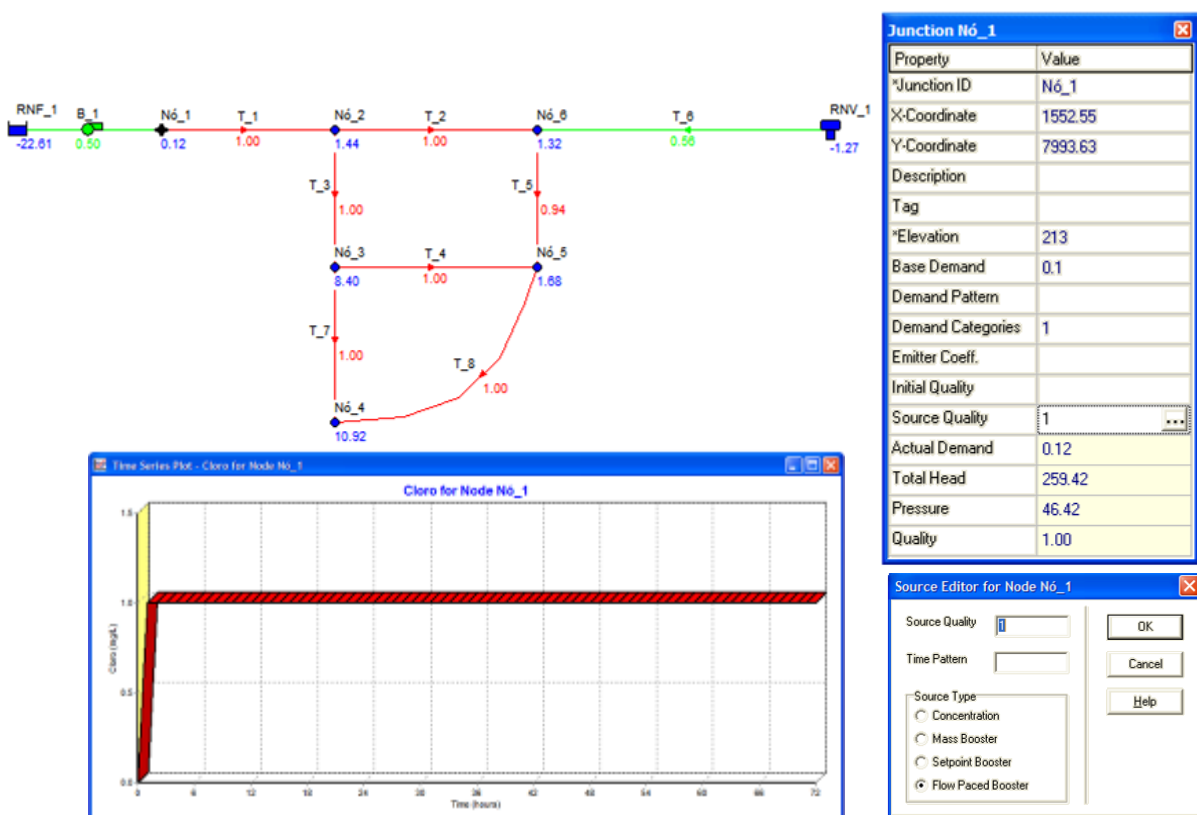


Fig.67 – Estação de Tratamento Adicional no Nó 1

### 4.10.2. REFORÇO DA CONCENTRAÇÃO

Em alternativa ao exemplo anterior podemos querer uma estação que adicione uma quantidade fixa de Cloro e neste caso deveremos alterar o Tipo de Origem para Reforço de Concentração (*Set Point Booster*) e definir o valor para a Origem de Qualidade.

Em ambas as situações poderemos variar o nível da concentração de cloro bastando para isso indicar qual o Padrão Temporal da variação (*Time Pattern*).

#### 4.11. COMANDO DO SISTEMA

A rede de abastecimento de água que geralmente se pretende implantar em determinado local necessita de instruções para o seu funcionamento, ou seja, é necessário “dizer” ao programa como funcionam os elementos constituintes do sistema.

As simulações a efectuar através do EPANET permitem a introdução deste tipo de controlos ou instruções através de uma função denominada *Controls*, acessível através da janela de dados (*Data*).

Existem dois tipos de comandos ao dispor do utilizador:

- Controlos Simples (sem número limite de utilização)
- Controlos com Condições Múltiplas

Os primeiros alteram o estado e/ou a propriedade de um troço de tubagem baseado nos parâmetros que a seguir se indicam:

- a) Pressão num nó
- b) Altura de água num RNV
- c) Instante da simulação
- d) Instante do dia

O formato da instrução a escrever na janela que se abre quando seleccionamos *Data/Controls/Simple* deverá ter a seguinte nomenclatura onde cada linha representa um controlo (ter em atenção a língua do software):

LINK x status IF NODE y ABOVE/BELOW z

x – rotulo do elemento (ID)

status – aberto (open), fechado (closed), parâmetro de regulação da bomba ou da válvula

y – rotulo do nó (ID)

z – pressão num nó ou altura de água num RNV (de acordo com a escolha de y)

LINK x status AT TIME t

t – tempo decorrido desde o inicio da simulação (notação decimal ou em horas:minutos)

LINK x status AT CLOCKTIME c AM/PM

c – instante do dia (período de 24 h)

Já os controlos com condições múltiplas fazem depender o estado e/ou a propriedade da tubagem da combinação de um conjunto de combinações possíveis após ter calculado as condições hidráulicas iniciais. O formato, também a inserir na janela que se abre através de *Data/Controls/Rule-Based*, é um pouco diferente do descrito anteriormente, como por exemplo:

RULE 1

IF TANK x LEVEL ABOVE h

THEN PUMP x STATUS IS CLOSED



Como opções para a análise temporal foram determinados os seguintes valores:

Times Options	
Property	Hrs:Min
Total Duration	12
Hydraulic Time Step	0.01
Quality Time Step	0.05
Pattern Time Step	24
Pattern Start Time	0:00
Reporting Time Step	0:10
Report Start Time	0:00
Clock Start Time	0 am
Statistic	None

Fig.70 – Edição de opções para análise temporal

Após executar a simulação o resultado é demonstrado pelas 2 seguintes figuras:

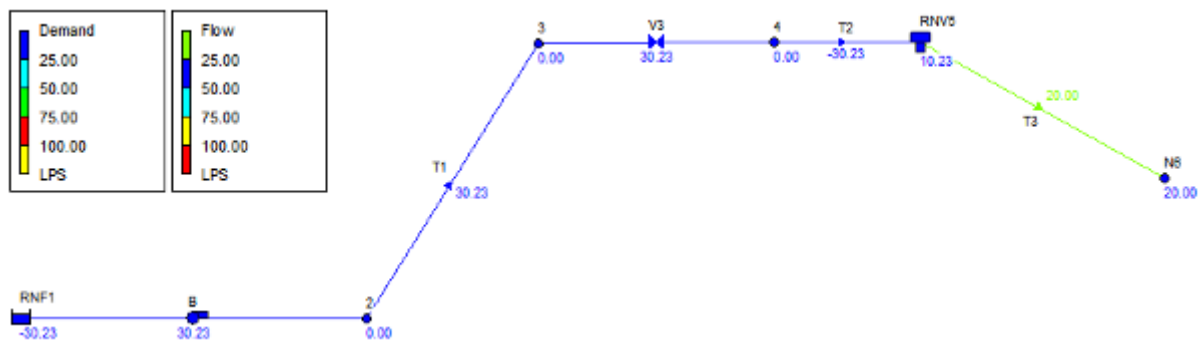


Fig.71 – Resultado da simulação com condições múltiplas

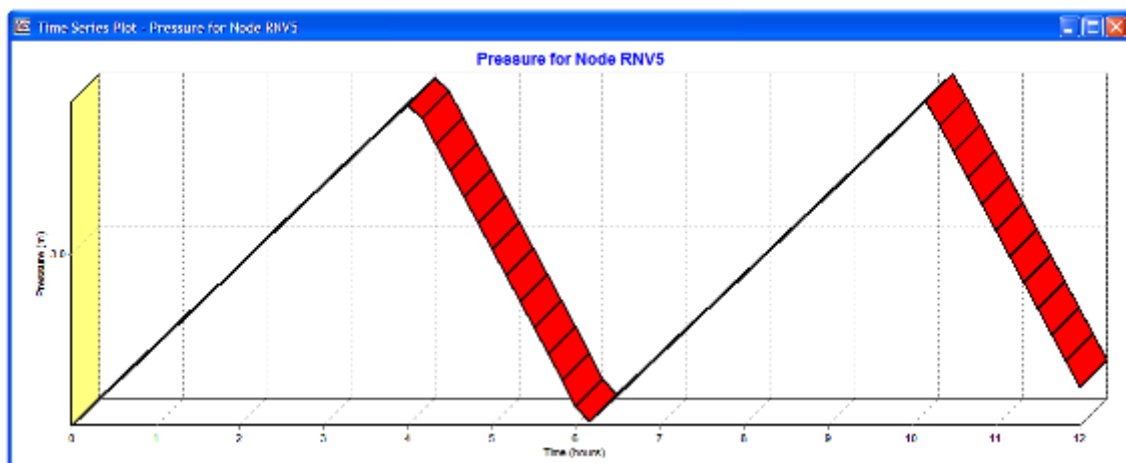


Fig.72 – Gráfico temporal da simulação com condições múltiplas



# 5

## SÍNTESE E CONCLUSÕES

Este trabalho pretendeu evidenciar as mais importantes capacidades do EPANET, não só através de uma descrição teórica mas também apresentando exemplos de casos práticos com os respectivos passos a desenvolver e soluções.

No capítulo 1 definiu-se e descreveu-se o que é o EPANET, suas capacidades e limitações assim como a identificação de alguns elementos base necessários para o estudo de abastecimento de água.

O capítulo 2 descreve o modo de funcionamento do EPANET, desde a inserção do traçado de uma rede, identificando os respectivos objectos, modos de simulação e alternativas para a visualização de resultados.

O capítulo mais importante deste trabalho, o 3, apresenta algumas das interactividades possíveis com o EPANET, utilizando outros programas, alguns não gratuitos.

Essas interactividades permitiram analisar e simular várias situações salientando-se as seguintes:

- Importação de redes desenhadas em Autocad
- Integração com programas GIS – sistemas de informação geográfica
- Análise da qualidade da água (idade, cloro residual, trihalometanos)
- Modelação do funcionamento de válvulas e bombas;
- Análise das condições de combate a incêndio.

Em muitas das situações descritas o EPANET tem de recorrer a outros programas informáticos de modo a que a situação em análise possa ser devidamente analisada e com resultados válidos, nomeadamente na importação de redes desenhadas em CAD e na análise da qualidade da água.

Já o capítulo 4 descreve e simula alguns casos especiais, muitos deles mencionados teoricamente no manual do EPANET, tais como a modelação de reservatórios hidropneumáticos, utilização de bombas e comando do sistema.

O EPANET é um simulador de cálculo automático de redes de transporte e distribuição de água bastante fiável mas que, apesar do grande potencial que este programa vem apresentado desde o seu aparecimento, apresenta ainda algumas falhas fazendo com que os utilizadores mais exigentes experimentem e provavelmente acabem por utilizar outro software que, apesar de pago, consegue oferecer maior interactividade entre ficheiros e com interfaces gráficos mais apelativos bem como na apresentação dos resultados.

## **BIBLIOGRAFIA**

Rossmann, L. A. (2000). *EPANET 2 – Users Manual*. U.S.E.P.A. – United States Environmental Protection Agency, Cincinnati.

Loureiro, D., Coelho, S. (2002). *EPANET 2 - Manual do Utilizador*. L.N.E.C. – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Environmental Systems Research Institute, Inc. (2001). *Using ArcView Database Access*.

Macke, S. (2005). *DC Water Design Extension Manual*. GNU Free Documentation License. Boston.

Rossmann, L. A. (2001). *DXF-TO-EPANET File Conversion Utility*. U.S.E.P.A. – United States Environmental Protection Agency, Cincinnati.

Russo, A., Lombardi, L.. *EasyNETCAD version 1.2 User Manual*. (<http://www.idroingegneria.com>).