

EFEITOS DA NÃO ADESÃO DOS CONSUMIDORES A UMA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

BRUNO MIGUEL PINTO DA SILVA

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

Orientador: Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente

Fevereiro 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

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

🌐 <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.

A quem me acompanha

Water, like religion and ideology, has the power to move millions of people. Since the very birth of human civilization, people have moved to settle close to it. People move when there is too little of it. People move when there is too much of it. People journey down it. People write, sing and dance about it. People fight over it. And all people, everywhere and every day, need it.

Mikhail Gorbachev, President of Green Cross International

AGRADECIMENTOS

Ao Professor José Tentúgal Valente, um agradecimento muito especial pela orientação científica. A sua contribuição e apoio incondicionais, assim como a preocupação e acompanhamento constantes, o espírito crítico com que sempre interveio ao longo da execução do trabalho, a cedência de material bibliográfico, a partilha de conhecimentos e a valiosa colaboração na revisão deste texto, foram inestimáveis. Obrigado pela oportunidade.

Ao Professor Manuel Pacheco Figueiredo, pela preciosa contribuição na escolha das constantes cinéticas de decaimento de cloro.

Aos serviços da biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pelas facilidades concedidas na consulta da bibliografia ali existente.

À Marisa Fernandes, por todo o auxílio prestado ao longo da elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos e familiares, em especial aos meus Pais, pelo apoio, força e ânimo que sempre me transmitiram.

À Célia, um profundo agradecimento pelo incentivo e apoio sem limites, sem os quais a realização deste trabalho seria certamente uma tarefa difícil.

A todos, Muito Obrigado.

RESUMO

O abastecimento de água às populações foi durante as últimas décadas, uma das maiores preocupações a nível nacional, principalmente depois da entrada em vigor do PEASAAR I em 2000. O objectivo principal deste plano relativamente ao abastecimento de água para consumo humano era servir 95% da população do País com sistemas públicos de abastecimento de água, com pelo menos 90% na área de cada sistema, obter níveis adequados de qualidade de serviço e estabelecer, a nível nacional, um plano de tarifas compatível com a capacidade económica das populações.

O presente trabalho tem por objectivo efectuar uma análise da influência do fenómeno da adesão dos consumidores aos sistemas públicos de abastecimento de água. Em Portugal, a taxa de adesão média nalgumas zonas do país não atinge os 80%, significando tal, que, mantendo-se este cenário, as redes de abastecimento de água a concluir nos próximos anos, poderão não ter os níveis de adesão e logo os consumos para os quais foram projectadas, levando a consequências negativas na velocidade de escoamento nas tubagens e no decaimento do desinfectante residual livre que deverá estar presente na água à saída da estação de tratamento.

O estudo agora apresentado foi efectuado considerando uma parte da rede de abastecimento de água da zona Norte do concelho Arcos de Valdevez, cujo dimensionamento e implantação foi gentilmente facultado. Esta rede tem uma extensão de cerca de 30 km e uma população de 1.700 habitantes, sendo que no ano horizonte a população estimada é de 2.500 habitantes. A partir da rede base, estimaram-se vários cenários de adesão, ao longo do tempo de exploração e, também, variações da população a que a rede atende, procurando-se assim avaliar os principais impactes da adesão a nível de parâmetros hidráulicos e de qualidade.

Foram ainda e também analisados os custos de instalação e exploração para os cenários em estudo, de forma a melhorar a percepção de como os níveis de adesão influenciam os efeitos de escala e o preço por m³ da água que chega aos consumidores.

PALAVRAS-CHAVE: abastecimento de água, qualidade da água, taxa de adesão, decaimento de cloro, custos de instalação, custos de exploração.

ABSTRACT

The populations' water supply has been, in the last decades, one of the major national issues, especially after PEASAAR I, in 2000. The main concerns of the water supply plan are to serve 95% of the countries' population with water supply public systems, with at least 90% in the area of each system, to obtain appropriate levels of quality of service and to establish at national level a compatible plan of tariffs with the economical capacity of the populations.

The present essay intends to effectuate a study of the phenomenon of the adhesion of the consumers to the water supply public systems. In Portugal, the tax of middle adhesion in many zones of the country does not reach 80%, this means that, if this scenery is maintained, nets of supply, ending in the near years, won't be able to reach the necessary levels of adhesion, and consequently, the demand for which they were projected, taking to negative consequences in the pipeline's drainages in and in the decline of the disinfectant free residual, present in the water at the exit of the treatment stations.

The study was carried out for a part of the supply net of the Northern District of Arcos de Valdevez, whose dimensions and introduction was kindly granted, which net has an approximated extension of 30 km and a population of 1.700 inhabitants, which is expected to increase to 2.500 in the horizon year. Based on these net, several sceneries of adhesion were appreciated, along the time of exploration, and also, variations of the population to whom the net attends, trying, in this way, to value the principal impacts of adhesion in terms of hydraulic parameters and quality.

The installation and exploration costs for the sceneries in study were also analysed, in order to find a way to improve the perception of how the adhesion levels influence the scale effects and the price for m³ of the water that reaches the consumers.

KEYWORDS: water supply, water quality, adhesion tax, chlorine decay, installation costs, exploration costs.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1 INTRODUÇÃO	 1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 OBJECTIVOS E METODOLOGIA	2
1.3 ESTRUTURA E CONTEÚDO DO TRABALHO	3
2 SÍNTESE DE CONHECIMENTOS	5
2.1 GENERALIDADES	5
2.2 PREOCUPAÇÕES ACTUAIS DAS ENTIDADES GESTORAS	5
2.2.1 SÍNTESE DOS CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	6
2.2.2 POPULAÇÃO	6
2.2.3 CAPITAÇÕES	7
2.2.4 CAUDAIS DE CÁLCULO	7
2.2.5 CONDUTAS	7
2.2.6 PADRÃO DE CONSUMO	8
2.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	9
3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO	11
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	11
3.2 EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA AO LONGO DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO	12
3.3 DECAIMENTO DO CLORO RESIDUAL	13
3.3.1 DECAIMENTO NO SEIO DA ÁGUA	13
3.3.2 DECAIMENTO NO CONTACTO COM AS PAREDES DA TUBAGEM	14
3.3.3 BIOFILMES	15
4 FORMULAÇÃO E MODELAÇÃO HIDRÁULICA	19
4.1 GENERALIDADES	19
4.2 PROGRAMA DE CÁLCULO EPANET	22
4.2.1 POSSIBILIDADES E/OU CAPACIDADES	22
4.2.2 APLICAÇÃO PRÁTICA	23
4.3 PARÂMETROS RELEVANTES NA MODELAÇÃO	28

4.3.1 VELOCIDADE DE ESCOAMENTO.....	29
4.3.2 PRESSÃO DE SERVIÇO	29
4.3.3 QUALIDADE DA ÁGUA.....	29
4.3.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO	31
5 DEFINIÇÃO DE CASOS DE ESTUDO	35
5.1 GENERALIDADES	35
5.2 ESCOLHA DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO E SUAS CARACTERÍSTICAS	35
5.2.1 DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA	37
5.2.2 DADOS FÍSICOS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS CONSUMOS	38
5.2.3 PADRÃO DE CONSUMO	39
6 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES E CENÁRIOS	43
6.1 GENERALIDADES	43
6.2 ADESÃO À REDE AO LONGO DO TEMPO	43
6.2.1 HIPÓTESE 1	43
6.2.2 HIPÓTESE 2	44
6.2.3 HIPÓTESE 3	45
6.3 CENÁRIOS ESTUDADOS	47
7 SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS E RESULTADOS	51
7.1 GENERALIDADES	51
7.2 CENÁRIO 1 – 2.500 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO	51
7.2.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	52
7.2.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	55
7.3 CENÁRIO 2 - 2.500 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO	58
7.3.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	59
7.3.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	61
7.4 CENÁRIO 3 - 2.500 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO	63
7.4.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	64
7.4.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	64
7.5 CENÁRIO 4 – 5.000 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO	65
7.5.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	65
7.5.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	66
7.6 CENÁRIO 5 – 5.000 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO	67
7.6.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	67

7.6.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	69
7.7 CENÁRIO 6 – 5.000 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO	70
7.7.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	70
7.7.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	70
7.8 CENÁRIO 7 – 7.500 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO	73
7.8.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	73
7.8.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	74
7.9 CENÁRIO 8 – 7.500 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO	76
7.9.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	76
7.9.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	76
7.10 CENÁRIO 9 – 7.500 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO	79
7.10.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	79
7.10.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	79
7.11 CENÁRIO 10 – 10.000 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO	79
7.11.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	80
7.11.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	80
7.12 CENÁRIO 11 – 10.000 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO	81
7.12.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	81
7.12.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	82
7.13 CENÁRIO 12 – 10.000 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO	84
7.13.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	84
7.13.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	84
7.14 CENÁRIO 13 – 25.000 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO	86
7.14.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	86
7.14.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	87
7.15 CENÁRIO 14 – 25.000 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO	89
7.15.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	89
7.15.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	90
7.16 CENÁRIO 15 – 25.000 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO	92
7.16.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO	92
7.16.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA	93
8 ANÁLISE DOS CUSTOS DE INSTALAÇÃO E EXPLORAÇÃO DA REDE	95

8.1 GENERALIDADES	95
8.2 CUSTOS DE INSTALAÇÃO	95
8.2.1 TRABALHOS PREPARATÓRIOS.....	95
8.2.2 ABERTURA E TAPAMENTO DE VALAS.....	95
8.2.3 EQUIPAMENTO.....	96
8.2.4 TUBAGEM E ACESSÓRIOS.....	96
8.2.5 RESERVATÓRIOS.....	96
8.3 CUSTOS DE EXPLORAÇÃO	96
8.3.1 ENCARGOS COM PESSOAL	96
8.3.2 MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS	97
8.3.3 QUALIDADE DA ÁGUA	97
8.3.4 DESPESAS DE REPRESENTAÇÃO DIVERSAS	98
9 EFEITOS NO PREÇO DE VENDA DE ÁGUA AOS CONSUMIDORES	99
9.1 GENERALIDADES	99
9.2 CUSTOS DE INVESTIMENTO	99
9.3 CUSTOS DE EXPLORAÇÃO	100
9.4 CUSTO DE AQUISIÇÃO DA ÁGUA	102
9.5 TOTAL DE CUSTOS ANUAL	103
9.6 PREÇO DE VENDA DA ÁGUA AOS CONSUMIDORES	103
9.7 RAMAIS DE LIGAÇÃO	105
9.8 ALUGUER DE CONTADORES	106
10 ANÁLISE MULTICRITÉRIO	109
10.1 GENERALIDADES	109
10.2 QUALIDADE	109
10.3 ECONOMIA	112
11 CONCLUSÃO E PROPOSTAS FUTURAS	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.2.1- Exemplo de padrões de consumo para duas categorias diferentes - doméstico e industrial respectivamente (INSSAA).....	8
Figura 2.2.2 - Padrões de consumo adimensionais correspondentes aos padrões da Figura 1 (INSSAA).....	9
Figura 3.3.1- Contribuição relativa das diversas componentes do consumo do cloro (adaptado de Kiéné et al, 1998)	15
Figura 3.3.2 - Componentes do decaimento do cloro em sistemas de distribuição	17
Figura 4.2.1 - Pressão no nó 41 durante a simulação	26
Figura 4.2.2 - Perfil de uma parte da rede em estudo	26
Figura 4.2.3 - Distribuição espacial das cotas dos nós da rede em estudo	27
Figura 4.2.4 - Distribuição da velocidade no sistema na 96ª hora.....	27
Figura 4.2.5 - Taxas de reacção médias.....	28
Figura 4.3.1 - Metodologia para determinação da constante cinética de decaimento de cloro no seio da água (Vieira e Coelho, 2000)	30
Figura 5.2.1- Arcos de Valdevez - Zona Norte.....	35
Figura 5.2.2 - Zona Norte do Concelho de Arcos de Valdevez e traçado da rede	36
Figura 5.2.3 - Freguesia da Aguiã.....	36
Figura 5.2.4 - Zona de São Vicente e Eiravade	37
Figura 5.2.5 - Representação esquemática da rede em estudo.....	38
Figura 5.2.6 - Rede de distribuição no programa EPANET e zonas de consumo.....	39
Figura 5.2.7 - Localização da Freguesia de Lodeiro no Marco de Canavezes e vista aérea de parte da Freguesia.....	40
Figura 5.2.8 - Padrão adimensional de consumo - Freguesia de Lodeiro	40
Figura 5.2.9 - Padrão de Consumo adimensional - Factor de Ponta 4.....	41
Figura 6.2.1 - Evolução das três hipóteses de adesão ao longo do tempo.....	47
Figura 7.2.1 - Isolinhas de altimetria da rede de distribuição em estudo	51
Figura 7.2.2 - Velocidade na rede na hora de maior consumo.....	52
Figura 7.2.3 - Velocidade no troço 44 – ano 1	53
Figura 7.2.4 - Pressão mínima nos nós da rede - ano 1.....	53
Figura 7.2.5 - Pressão máxima nos nós da rede - ano 1.....	54
Figura 7.2.6 - Variação da pressão no nó 73.....	54
Figura 7.2.7 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 100%	55
Figura 7.2.8 - Variação da concentração do cloro residual no nó 73 - ano 1	55

Figura 7.2.9 - Variação da concentração do cloro residual no nó 73 - ano 25	56
Figura 7.2.10 – Variação da concentração de cloro residual nos troços e nós da rede - estações de rechloragem - ano 1 – adesão 100%	57
Figura 7.2.11 – variação da concentração de cloro residual no nó 73 com estações de rechloragem - ano1.....	57
Figura 7.3.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 20% adesão	59
Figura 7.3.2 - Velocidade no troço 44 - ano 1 – adesão 20%.....	60
Figura 7.3.3 - Velocidade nos troços da rede - ano 40 - 100% adesão.....	60
Figura 7.3.4 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%.....	61
Figura 7.3.5 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 1	62
Figura 7.3.6 - Concentração de cloro residual na rede - ano1 - 20% de adesão - 7 estações de rechloragem.....	62
Figura 7.3.7 - variação da concentração de cloro residual no nó 73 com estações de rechloragem - ano1.....	63
Figura 7.5.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 100% adesão.....	65
Figura 7.5.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 100%.....	66
Figura 7.5.3 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 1	66
Figura 7.6.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 20% adesão	68
Figura 7.6.2 - Variação da pressão no nó 73	68
Figura 7.6.3 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%.....	69
Figura 7.7.1 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 15%.....	71
Figura 7.7.2 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 1	71
Figura 7.7.3 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 15	72
Figura 7.7.4 - Concentração de cloro residual na rede – ano15 - 55% de adesão - 1 estação de rechloragem.....	73
Figura 7.8.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 100% adesão.....	74
Figura 7.8.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 100%.....	75
Figura 7.8.3 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 1	75
Figura 7.9.1 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%.....	77
Figura 7.9.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 10 – adesão 60%.....	78
Figura 7.11.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 40 – 100% adesão.....	80
Figura 7.12.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 20% adesão	82
Figura 7.12.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%.....	83
Figura 7.12.3 - Concentração de cloro residual na rede – ano1 - 20% de adesão - 3 estações de rechloragem.....	83

Figura 7.13.1 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 15%	85
Figura 7.14.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 100% adesão.....	86
Figura 7.14.2 - Troços da rede com velocidade superior a 0,3 m/s - ano 40	87
Figura 7.14.3 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 100%	88
Figura 7.15.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 20% adesão.....	89
Figura 7.15.2 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 20 – 85% adesão.....	90
Figura 7.15.3 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%	91
Figura 7.15.4 - Variação da concentração do cloro residual no nó 73 - ano 1	91
Figura 7.16.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 15% adesão.....	93
Figura 7.16.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 15%	94
Figura 10.2.1 - Comparação Cenário 1,2 e 3 - estações de recloração.....	110
Figura 10.2.2 - Comparação Cenário 4,5 e 6 - estações de recloração.....	110
Figura 10.2.3 - Comparação Cenário 7,8 e 9 - estações de recloração.....	111
Figura 10.2.4 - Comparação Cenário 10,11 e 12 - estações de recloração.....	111
Figura 10.2.5 - Comparação Cenário 13,14 e 15 - estações de recloração.....	112
Figura 10.3.1 - Evolução do lucro anual no cenário 1	113
Figura 10.3.2 - Evolução dos lucros anuais dos cenários 1, 2 e 3	113
Figura 10.3.3 - Evolução dos lucros anuais dos cenários 4, 5 e 6	114
Figura 10.3.4 - Evolução dos lucros anuais dos cenários 7, 8 e 9	114
Figura 10.3.5 - Evolução dos lucros anuais dos cenários 10,11 e 12	115
Figura 10.3.6 - Evolução dos lucros anuais dos cenários 13,14 e 15	116
Figura 10.3.7 - Resultados económicos ao fim dos 40 anos de exploração	116

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.3.1 - Modelos cinéticos de decaimento do cloro	31
Quadro 6.2.1 - Evolução da Adesão da População - Hipótese 1	44
Quadro 6.2.2 - Evolução da Adesão da População - Hipótese 2	45
Quadro 6.2.3 - Evolução da Adesão da População - Hipótese 3	45
Quadro 6.3.1 - Cenários estudados	48
Quadro 6.3.2 - Subdivisão do Cenário 1	48
Quadro 6.3.3 - Subdivisão do Cenário 2	49
Quadro 6.3.4 - Subdivisão do Cenário 3	49
Quadro 7.2.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 1	58
Quadro 7.3.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 2	63
Quadro 7.4.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 3	64
Quadro 7.5.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 4	67
Quadro 7.6.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 5	69
Quadro 7.7.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 6	72
Quadro 7.8.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 7	76
Quadro 7.9.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 8	78
Quadro 7.10.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 9	79
Quadro 7.11.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 10	81
Quadro 7.12.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 11	84
Quadro 7.13.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 12	85
Quadro 7.14.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 13	88
Quadro 7.15.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 14	92
Quadro 7.16.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do cenário 15	94
Quadro 8.3.1 – Encargos sociais com um funcionário	97
Quadro 8.3.2 - Frequência mínima de amostragem e análise de água. (adaptado do DL Nº306/2007)	98

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ACRÓNIMOS

AdML – Águas do Minho e Lima, S.A.

AWWA – American Water Works Association

DGA – Direcção Geral do Ambiente

DN – diâmetro nominal

DR – Decreto Regulamentar

DL – Decreto de Lei

ETA – Estação de Tratamento de Água

ID – Indicador de Desempenho

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

IWA – International Water Association

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PEEASAR – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais

PEAD – polietileno de alta densidade

pH – potencial hidrogeniónico

PN – pressão nominal

PVC – cloreto de polivinilo

SNIRH – Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Abrir a torneira e obter água de boa qualidade é algo que, nos actuais tempos e para a maioria da população portuguesa se classificaria como trivial, como adquirido, não contemplando a hipótese de tal não suceder.

Verificou-se em Portugal, sobretudo nos últimos 20 anos, uma evolução bastante positiva das taxas de cobertura das populações por sistemas públicos de abastecimento de água que atingia em 2003 o valor médio de 93,7% para o serviço de abastecimento de água. Analisando os resultados obtidos para o serviço de abastecimento de água ao nível das NUT II¹ constata-se que apenas a região Norte (85,2%) e a região do Algarve (91,6%) apresentam ainda valores inferiores aos definidos no PEAASAR 2000/2006 que pretendia uma cobertura de 95% da população servida com água potável no domicílio e uma cobertura por cada sistema de abastecimento de água de 95% dos efectivos populacionais da correspondente área de atendimento. [APDA 2006].

A taxa de adesão é um indicador que reflecte o nível de utilização efectiva do serviço disponibilizado, ou por outras palavras, a percentagem de pessoas que efectivamente estão ligadas à rede pública e utilizam água proveniente da mesma. Apesar das taxas de cobertura/atendimento serem já bastante próximas do que se pretendia atingir, a taxa de adesão ainda apresenta uma grande disparidade a nível nacional. Apenas as regiões de Lisboa e Vale do Tejo e as regiões Autónomas apresentam valores acima dos 90%, sendo que a região Norte não atinge ainda os 80% e, nas regiões Centro, Alentejo e Algarve esses são, respectivamente, de 82%, 84% e 81% (Comissão Especializada de Legislação e Economia da APDA, 2006).

Em algumas localidades do País, as taxas de adesão são muito inferiores aos valores médios, embora as infra-estruturas de abastecimento de água estejam construídas e prontas a funcionar, mas, apesar de terem a instalação à porta os moradores não aderem à rede de abastecimento, preferindo continuar a utilizar água de poços ou de garrafão.

Esta opção ou escolha por parte dos moradores poderá ser essencialmente devido a motivos económicos (preços de ligação à rede e custo da própria água, saneamento etc.), mas também em alguns casos em que estará enraizado na cultura o recurso a poços e furos próprios sentindo assim autonomia em relação às entidades públicas.

¹ Nomenclatura das Unidades Territoriais – Nível 2 - Decreto-Lei n° 204/2002 - NUTS em Portugal

Independentemente dos motivos que levam as populações de certas regiões a não aderirem à rede pública de distribuição de água, este facto tem implicações em diversos níveis, nomeadamente:

a) Riscos para a saúde pública

As águas subterrâneas são um recurso natural imprescindível para a vida e para a integridade dos ecossistemas, representando mais de 95% das reservas de água doce exploráveis do globo.

A água subterrânea resulta da infiltração da água que provém da precipitação e da alimentação directa dos rios e lagos.

Do total da água disponível na Terra, 2,5 % é água doce. Desta percentagem cerca de 30% é água subterrânea sendo esta inegavelmente uma das mais importantes fontes de água em utilização por todo o mundo.

Apesar de se encontrarem melhor protegidas contra a contaminação do que as águas superficiais, e apesar do poder filtrante e autodepurador das camadas superiores, as águas subterrâneas não se encontram imunes à poluição provocada por diversas actividades humanas das quais se destacam:

- ❖ Uso intensivo de adubos e pesticidas em actividades agrícolas;
- ❖ Deposição de resíduos industriais sólidos e líquidos ou de produtos que podem ser dissolvidos e arrastados por águas de infiltração em terrenos muito vulneráveis;
- ❖ Deposição de lixo urbano em aterros;
- ❖ Deposição de dejectos animais resultantes de actividades agropecuárias;
- ❖ Construção incorrecta de fossas sépticas;
- ❖ Contaminação salina pelo avanço da água salgada motivada pela exploração intensiva dos aquíferos costeiros.

Devido a estes problemas muitos dos aquíferos utilizados para captações encontram-se contaminados, sendo a sua água imprópria para consumo, mas ainda assim nalgumas zonas do país uma grande parte da população persiste na utilização desta água o que poderá introduzir problemas de saúde graves indo assim contra as recomendações da Organização Mundial de Saúde.

b) Resultados económicos

Devido à falta de adesão, o investimento feito pelas autarquias e empresas municipais acaba por não ser rentabilizado, aumentando assim o preço que cada consumidor aderente paga pela sua água, inviabilizando assim novas aderências devido ao preço elevado da água, gerando-se um círculo vicioso.

1.2 OBJECTIVOS E METODOLOGIA

O objectivo deste Projecto é saber quais são os efeitos que a **não adesão** ou **adesão** lenta dos consumidores a uma rede de abastecimento público comporta para a rede e para as empresas gestoras responsáveis, quer a nível hidráulico e de qualidade da água quer a nível financeiro.

Pretende-se então escolher uma rede que se considere representativa e estabelecer vários cenários relativos a níveis de adesão e avaliar os seus efeitos através de simulações com recurso a modelos informáticos que permitam controlar parâmetros hidráulicos e de qualidade.

Em relação à parte económica pretende-se fazer uma estimativa do tempo de retorno de investimento em cada cenário estudado e o tarifário a aplicar para que esse retorno seja possível.

1.3 ESTRUTURA E CONTEÚDO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em dez capítulos. Ao capítulo introdutório (Capítulo 1), segue-se o Capítulo 2, onde se efectua uma breve revisão dos temas fundamentais tal como as preocupações actuais das entidades gestoras e uma síntese breve dos critérios de dimensionamento.

No Capítulo 3 apresentam-se noções respeitantes à qualidade de água para abastecimento, principalmente a nível de tratamento e desinfecção da água, focando também a evolução da qualidade da água ao longo de uma rede pública e a taxa de decaimento do cloro residual livre tanto no seio da água como no contacto com as paredes da tubagem.

O Capítulo 4 foca a formulação e modelação hidráulica do sistema usando software apropriado, neste caso o EPANET. Faz-se uma descrição ligeira das potencialidades do programa e apresenta-se alguns exemplos de aplicação prática, assim como os parâmetros mais relevantes na modelação.

No Capítulo 5 são introduzidos os casos de estudo considerados. A rede de distribuição escolhida é um caso real de uma rede de abastecimento de parte do concelho de Arcos de Valdevez. É realizada a descrição geral do sistema e são apresentados os dados físicos e padrões de consumo que serão utilizados na modelação.

No Capítulo 6 definem-se as hipóteses e cenários em estudo. Consideraram-se 3 hipóteses diferentes de adesão à rede de distribuição ao longo do tempo de exploração, e foram criados 15 cenários, contemplando essas hipóteses e variações hipotéticas do número de habitantes que a rede abastece.

O Capítulo 7 contém os resultados das simulações dos 15 cenários estudados, divididos em implicações dos efeitos da adesão em termos hidráulicos e de qualidade. São apresentados gráficos de vários parâmetros que se consideram relevantes para o estudo em causa, com principal incidência nos que relatam a evolução da velocidade e do cloro residual na rede.

Os Capítulos 8 e 9 centram-se na análise económica dos cenários analisados, estudando a relevância da taxa de adesão no que diz respeito aos lucros obtidos por uma empresa gestora que pretenda construir e explorar uma rede deste género.

Por fim, no Capítulos 10, apresentam-se algumas comparações relevantes sobre a evolução do estudo, em termos de qualidade da água e também de análise económica, seguindo-se o Capítulo 11 onde se expõem as principais conclusões obtidas neste projecto, assim como os pontos fracos do mesmo.

2

SÍNTESE DE CONHECIMENTOS

2.1 GENERALIDADES

Existe uma preocupação crescente assim como uma necessidade de responder a novos compromissos e solicitações dos sistemas de abastecimento de água sem descurar nunca factores como a qualidade, segurança e fiabilidade.

É portanto imprescindível um estudo cuidado desde a fase de estudo e projecto até um sistema de manutenção e exploração eficaz para que os recursos requeridos sejam os mínimos possíveis.

Neste ponto apresenta-se uma síntese das preocupações actuais que as entidades gestoras de sistemas e redes de abastecimento de água enfrentam, assim como um breve resumo dos métodos utilizados para dimensionamento normalmente utilizados em Portugal e por fim uma breve clarificação sobre os indicadores e metodologias existentes para avaliação e classificação deste tipo de sistema.

2.2 PREOCUPAÇÕES ACTUAIS DAS ENTIDADES GESTORAS

Historicamente as entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água tinham como preocupações principais os aspectos económicos inerentes à actividade e formas de garantir quantidade e qualidade de água aos consumidores.

No entanto, com o decorrer dos anos desenvolveu-se uma nova sensibilidade referente a todos os tipos de manipulação deste recurso escasso e sensível que é a água potável.

Actualmente as decisões não são tomadas por aspectos meramente económicos, surgindo assim uma serie de factores relevantes para auxiliar os gestores a prestarem um melhor serviço aos consumidores. Falamos de factores como a minimização de incómodos provocados por obras em curso e a melhoria constante do nível de serviço, nomeadamente da fiabilidade e qualidade do produto.

Em 1997, Deb e Cesario desenvolveram um estudo para a AWWARF² em que propõem três critérios de desempenho:

- ❖ Adequabilidade, referente ao fornecimento de quantidade e qualidade de água em níveis aceitáveis e com pressão considerada adequada.
- ❖ Confiabilidade, que reflecte a capacidade para o sistema distribuir a quantidade de água para que foi projectado com qualidade e pressão adequadas e com um número mínimo de interrupções.

² AWWARF – American Water Works Association Research Foundation

- ❖ Eficiência, traduzindo a forma como são utilizados os recursos, em particular em termos de água e energia, ou seja, analisando e quantificando as perdas de água e a eficiência dos grupos elevatórios.

Com base nestes critérios as entidades gestoras responsáveis têm como objectivo o aproveitamento máximo de recursos tanto para minimizar os custos como para servir melhor os consumidores.

Segundo Alegre et al. (2005), os motivos do processo de mudança são os seguintes:

- ❖ Reconhecimento da necessidade de adopção de uma visão integrada e pluridisciplinar da gestão dos sistemas, que contemple os aspectos hidráulicos, de qualidade de água, de fiabilidade, de gestão e energia, de recursos humanos, de operação e manutenção, ambientais e sociais, em articulação com os aspectos económico-financeiros;
- ❖ Consciencialização da necessidade de garantir bons níveis de serviço durante toda a vida da obra; seja o projecto de sistemas novos, seja o projecto de reabilitação de sistemas existentes, deve ter em consideração este aspecto; a identificação e análise do cenário de operação mais adequado deve ser efectuada na fase de projecto, o qual deve prever soluções flexíveis, eficientes e eficazes;
- ❖ Reconhecimento da importância de avaliar o impacto das alterações nos sistemas existentes um vez que o aumento do nível de cobertura resulta principalmente das, expansões ou reforços de sistemas existentes, em vez da construção de sistemas totalmente novos;
- ❖ Atenção crescente à necessidade de racionalizar os investimentos, sobretudo após a entrada de investidores privados no sector;
- ❖ Consciencialização crescente relativamente a aspectos ambientais, que se reflecte na necessidade de racionalizar o uso dos recursos naturais, em particular da água e da energia;
- ❖ Aumento da relevância técnica e da visibilidade pública, a par de exigências legais cada vez mais restritivas, nas questões relacionadas com a qualidade da água;
- ❖ Aumento da acessibilidade e da disponibilidade de equipamento computacional;
- ❖ Reconhecimento da necessidade de integrar a vasta informação disponível, promovendo a partilha entre sectores e o uso de cada tipo de dados para fins múltiplos, também reflexo da vulgarização do uso de sistemas de informação;
- ❖ Aumento progressivo da relevância do papel do cidadão consumidor, em particular por meio dos órgãos de comunicação social e das organizações não governamentais ligadas aos direitos do consumidor e à defesa do ambiente.

2.2.1 SÍNTESE DOS CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Os critérios de dimensionamento normalmente utilizados são os recomendados no Decreto Regulamentar nº 23/95 e no Manual de Saneamento Básico, de onde se extraem os seguintes.

2.2.2 POPULAÇÃO

Os sistemas de saneamento básico devem ser projectados para servir, em boas condições, tanto a população actual como a população futura (Horizonte de Projecto) dos aglomerados a que se destinam. Os métodos habituais para estudo das populações são baseados principalmente:

- ❖ Censos populacionais;
- ❖ Recenseamentos eleitorais;
- ❖ Estudos de planeamento;
- ❖ Inquéritos locais;
- ❖ Extrapolações.

As previsões da evolução populacional são sempre passíveis de erro, já que factores não quantificáveis podem introduzir grandes distorções. Por este motivo é aconselhado a que, por um lado, se realizem ensaios de sensibilidade aos valores atribuídos as taxas de evolução e por outro se calculem populações para várias hipóteses de crescimento, por exemplo hipótese alta, hipótese mais provável e hipótese baixa. Estes valores permitem balizar as soluções definidas nos projectos e verificar as condições de funcionamento dos sistemas para várias hipóteses de evolução.

O conhecimento da população e seus hábitos é, assim, um dado de base fundamental para o cálculo dos consumos de água, os quais irão determinar a concepção e dimensionamento dos diversos órgãos do sistema.

2.2.3 CAPITAÇÕES

Por capitação entende-se o consumo médio diário anual, em litros por habitante e por dia, o qual engloba, para além das perdas os seguintes consumos específicos:

- ❖ Doméstico;
- ❖ Público;
- ❖ Comercial;
- ❖ Pequena indústria disseminada.

Os valores da capitação são influenciados por diversos factores, entre os quais avultam o clima, os hábitos e nível social das populações e o preço da água. As capitações domésticas são obtidas com base em valores de consumo de água, a partir dos quais se estima a sua evolução. Na impossibilidade de obter dados relativos aos consumos, os valores de capitação são estimados atendendo à dimensão e características do aglomerado. Exemplos de valores de referência de capitações são de 80 l/hab/dia para populações até 1000 habitantes e 175 l/hab/dia para populações com dimensão superior a 50 000 habitantes, de acordo com Artigo 13º do Decreto Regulamentar 23/95.

2.2.4 CAUDAIS DE CÁLCULO

O dimensionamento de redes deverá ser feito para um horizonte de grandeza do período de vida útil da obra, habitualmente admitido de 40 anos no que diz respeito as obras de construção civil.

Além do factor de ponta horário, que foi utilizado no presente estudo e que se refere no ponto 2.2.6, por vezes há necessidade de considerar o factor de ponta diário e o factor de ponta mensal, que variam com a dimensão do agregado e do número de povoações a servir. O primeiro pode variar entre 1,0 e 1,5 dependendo dos casos. Usualmente em sistemas novos e com grandes extensões de condutas e com pouca população a abastecer, adopta-se o valor de 1,3, que corresponde, ao factor de ponta mensal.

Dado que em quase todos os troços de uma rede de distribuição existem ligações domiciliárias, há que contar com caudais decrescentes, à medida que se caminha para jusante.

Entende-se por caudal de percurso de um determinado troço de rede, o somatório dos caudais fornecidos aos utentes ligados a esse troço. A contagem expressa dos utentes conduz a um cálculo mais rigoroso, embora na prática possa recorrer-se a uma simplificação de dividir o caudal de ponta pelo comprimento dos troços com serviço de percurso, obtendo-se assim o caudal de percurso.

2.2.5 CONDUTAS

As condutas são calculadas para o caudal de ponta previsível, admitindo-se, normalmente, que o factor de ponta é constante para toda a rede, o que constitui uma simplificação. Para contrabalançar os

potenciais efeitos negativos de tal simplificação respeitam-se determinados valores mínimos para o diâmetro de tubagem e para o caudal de cálculo.

As condições a que uma rede deverá satisfazer, são:

- ❖ Diâmetros não inferiores ao mínimo regulamentar;
- ❖ Velocidade de escoamento para o caudal de ponta no ano de início de exploração do sistema não deve ser inferior a 0,30 m/s;
- ❖ Velocidades de escoamento inferiores a 1,5 m/s;
- ❖ Pressão máxima, estática ou de serviço, em qualquer ponto de utilização não deve ultrapassar os 0,6 MPa;
- ❖ Pressão mínima, em qualquer dispositivo de utilização, compatível com o bom abastecimento do mesmo.

2.2.6 PADRÃO DE CONSUMO

O consumo humano de água que como já se referiu constitui a solicitação primordial dos sistemas de abastecimento é por natureza muito variável no tempo. A forma de incorporar essas variações temporais consiste em introduzir padrões de variação de consumo, que não são mais que sequências de factores multiplicativos, um por cada passo temporal da simulação hidráulica.

Diferentes padrões de consumo traduzirão, assim, diferentes comportamentos.

Assim, o consumo em cada nó da rede, para determinado passo temporal, é dado pelo produto do consumo-base no nó pelo valor do padrão de consumo escolhido, para o passo temporal em causa:

$$q_i^t = P^t q_i \quad (1)$$

em que q_i^t é o consumo no nó i no instante t , q_i é o consumo-base no nó i e P^t é o valor do padrão de consumo no instante t .

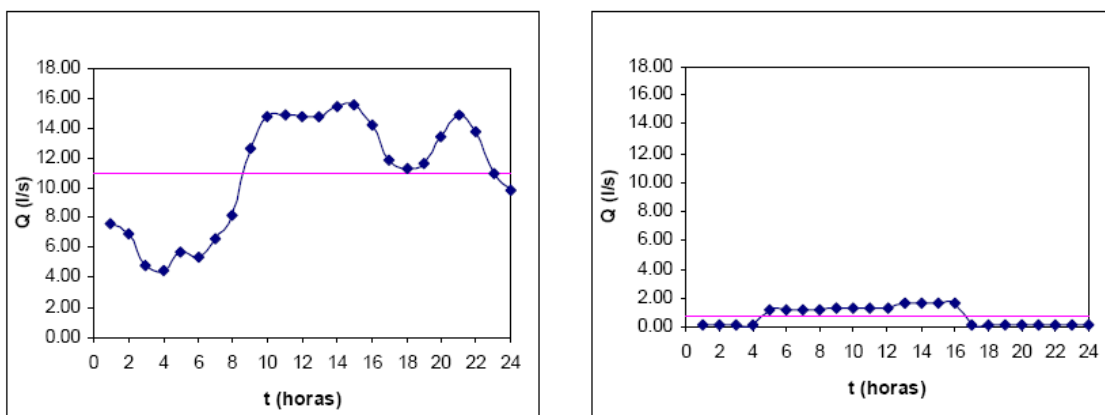


Figura 2.2.1- Exemplo de padrões de consumo para duas categorias diferentes - doméstico e industrial respectivamente (INSSAA)

No caso de existirem várias categorias de consumo, haverá um padrão de consumo por cada categoria (embora o mesmo padrão possa ser utilizado por mais do que uma categoria). A forma apresentada de especificar os consumos é bastante flexível e permite várias combinações válidas uma vez que prevê vários graus de liberdade, porém este tipo de representação pode também tornar-se fonte de erros se não for apreendido o significado real dos diferentes componentes. É importante, ao combinar os vários factores envolvidos, manter presente que o princípio de massas tem de ser respeitado.

Em simulação em período alargado, os dois principais factores a manipular são, habitualmente, o consumo-base e o padrão de consumo, reservando-se o factor multiplicativo de consumo para correcções, calibração ou análise de sensibilidade do modelo. [Coelho, et al, 2003]

Assume-se habitualmente que a distribuição espacial, para o cenário modelado, é fixa, ou seja, estimada uma distribuição espacial de consumos nos nós, esta mantém-se constante ao longo de toda a simulação, sendo as variações no tempo apenas consequência da multiplicação dos consumos nos nós pelo padrão de variação no tempo. Esta forma de carregar consumos nos nós e atribuir a variação temporal a um ou mais padrões pode ser aplicada atribuindo a cada nó o consumo base dimensional, e utilizar padrões de consumo adimensionais, ou seja, cuja média é a unidade.

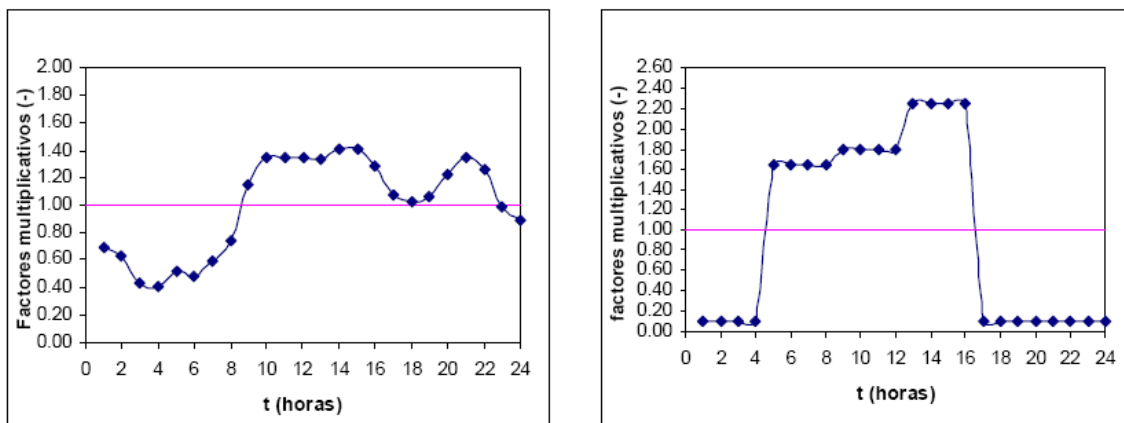


Figura 2.2.2 - Padrões de consumo adimensionais correspondentes aos padrões da Figura 1 (INSSAA)

2.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A avaliação de desempenho de um sistema de abastecimento de água é como foi referido no ponto 2.2 muito diferente do que seria anteriormente. Com efeito e independentemente da sua gestão ser pública ou privada os dois objectivos fundamentais eram o fornecimento de água em quantidade e qualidade apropriadas.

Todavia e segundo Alegre et al. (2004) actualmente a avaliação do desempenho dos sistemas pode ser efectuada a dois níveis distintos:

- ❖ A nível global, quando se pretende avaliar a qualidade do serviço prestado pelas entidades gestoras, face a valores de parâmetros/indicadores de funcionamento das próprias entidades;
- ❖ A nível técnico, quando o objectivo principal consiste na previsão e no diagnóstico do comportamento dos sistemas face a determinados cenários de funcionamento.

Um indicador de desempenho é uma medida quantitativa de um aspecto particular do desempenho da entidade gestora ou do seu nível de serviço. É um instrumento de apoio à monitorização da eficiência e da eficácia da entidade gestora, simplificando uma avaliação que de outro modo seria mais complexa e subjectiva.

Matos et al. (1993) desenvolveu um estudo com o objectivo de definir um conjunto de indicadores de desempenho, calculados com base nos dados históricos da entidade gestora, destinados a apoiar a selecção das melhores soluções e o acompanhamento de projectos de saneamento básico. A estrutura apresentada é constituída por quatro grupos de indicadores:

- ❖ Indicadores demográficos, referentes à população a servir pelo sistema;

- ❖ Indicadores tecnológicos, que têm como função traduzirem as condições físicas e operacionais do sistema;
- ❖ Indicadores de eficiência, que representam a eficiência do serviço prestado;
- ❖ Indicadores económicos e financeiros, que reflectem os custos e benefícios económicos de implementação do sistema.

O uso de indicadores de desempenho pode ter as seguintes vantagens e aplicações, para as entidades gestoras:

- ❖ Facilita uma melhor e mais oportuna resposta por parte dos gestores;
- ❖ Permite uma melhor monitorização dos efeitos e das decisões de gestão;
- ❖ Fornece a informação-chave de suporte a uma atitude pró-activa da gestão, em alternativa a uma atitude reactiva, baseada nas disfunções aparentes dos sistemas;
- ❖ Permite destacar os pontos fortes e fracos dos diversos sectores das entidades gestoras, e assim apoiar a adopção de medidas correctivas para melhoria da produtividade, dos procedimentos e das rotinas de trabalho;
- ❖ Facilita a implementação de um sistema de Gestão pela Qualidade Total, constituindo um meio de valorização da qualidade global e da eficiência no seio da organização;
- ❖ Facilita a implementação de rotinas de “benchmarking”, quer internamente à entidade gestora, quer externamente, promovendo melhorias de desempenho;
- ❖ Proporciona uma base técnica de suporte a processos de auditoria da actividade da entidade gestora e de previsão dos efeitos de recomendações resultantes das auditorias. [Alegre et al, 2004].

3

QUALIDADE DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A água que é produzida numa estação de tratamento de águas (ETA) é sujeita a uma alteração das suas características físico-químicas e microbiológicas em consequência de um vasto conjunto de interacções que ocorrem quer no seio da própria água quer no contacto com os diversos elementos constituintes do sistema de distribuição no qual se efectua o transporte até ao ponto de consumo.

A manutenção da qualidade da água ao longo de todo o sistema de transporte e distribuição é um dos principais problemas com que se deparam as entidades distribuidoras de água, já que é uma questão sensível que envolve riscos para a saúde pública e influencia a aceitação da água por parte dos consumidores não se podendo também esquecer o aumento do custo de distribuição devido ao tratamento que uma água adequada ao consumo humano necessita. Em situações de rotina, a etapa de tratamento de água é a que tradicionalmente consome mais recursos técnicos e financeiros. [Vieira, 2002]

Outro factor importante que afecta a qualidade da água no sistema de distribuição é o critério adoptado no dimensionamento do sistema, já que, tradicionalmente, as redes são projectadas e dimensionadas de forma a verificar critérios hidráulicos de quantidade (caudal e pressão adequados) e não de qualidade da água distribuída. Daqui resultam grandes volumes de água armazenados, o que origina longos tempos de permanência. A utilização de diâmetros mínimos regulamentares para combate a incêndio tem como consequência nalguns casos velocidades baixas em extremos da rede, que consequentemente originam longos tempos de percurso, sendo estes factores que contribuem para a degradação da qualidade da água tratada.

Em termos legislativos os aspectos de qualidade que têm sido alvo de maior cuidado são:

- ❖ A lixiviação de ferro, chumbo e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos das tubagens;
- ❖ A formação e evolução das concentrações de trihalometanos produzidos na reacção do cloro com compostos presentes na água a desinfectar
- ❖ Os parâmetros microbiológicos.

Quanto aos consumidores, os parâmetros que adquirem maior importância são os aspectos de aceitabilidade como o sabor (em particular o sabor a cloro), e a cor.

3.2 EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA AO LONGO DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Os tratamentos de água que ocorrem na ETA removem a maioria das bactérias presentes na água bruta, mas, a água produzida não é estéril, isto é, existe uma certa quantidade de bactérias que continuam activos podendo multiplicar-se ao longo da rede de distribuição de tal forma que a contagem microbiológica é crescente à medida que se aumenta a distância para a estação de tratamento.

Não é porém este o único motivo pelo qual existem microrganismos nas tubagens. A existência de fontes de contaminação resultantes de roturas, entrada de animais, contaminantes nos reservatórios do sistema e intrusões causadas por pressões negativas, contribuem para que a quantidade de microrganismos nocivos aumente.

O fenómeno de crescimento microbiológico nos sistemas de distribuição é normalmente designado como *regrowth*, quer os microrganismos tenha entrado no sistema por terem resistido ao tratamento da ETA (designado por *breakthrough*) ou por contaminação externa (designado por *ingress*). De acordo com Walker (1998) o *breakthrough* não constitui em geral um risco para a saúde pública (pois a quantidade de microrganismos que sobrevive ao tratamento é mínima). O *ingress*, porém, pode representar um risco grave, já que o cloro residual presente no ponto de contaminação pode não ser o suficiente para inibir e matar as bactérias.

O *regrowth* refere-se ao crescimento das populações de bactérias em suspensão na água. Estes microrganismos têm mecanismos que lhes permitem aderir as paredes das tubagens, formando os biofilmes que contribuem para a degradação da qualidade da água ao longo dos sistemas de distribuição.

Segundo Haslay e Leclerc (1993) os motivos pelos quais o biofilme é prejudicial são os seguintes:

- ❖ Consomem o cloro residual necessário para, a jusante, inibir o crescimento microbiológico;
- ❖ Da reacção do cloro com as espécies orgânicas presentes no biofilme resultam produtos organoclorados com propriedades cancerígenas e por vezes conferindo sabor desagradável à água;
- ❖ O arranque do biofilme aderente às paredes (devido a variações bruscas das condições de escoamento) ou a sua desagregação natural originam a passagem de bactérias que começam a desenvolver-se na água;
- ❖ Os biofilmes suportam a vida de fungos e bactérias que conferem sabor à água transportada;
- ❖ Bactérias lesadas pelos oxidantes na etapa final de desinfecção da ETA alojam-se nos biofilmes, onde permanecem durante um período de recuperação da actividade metabólica, após o qual podem novamente passar à água transportada;
- ❖ Aceleram os processos de corrosão, provocando a libertação de produtos potencialmente perigosos.

As estratégias de gestão da desinfecção em sistemas de abastecimento actualmente em prática no mundo traduzem duas metodologias distintas para lidar com o problema de degradação microbiológica da água. A tradicional consiste na manutenção de uma concentração residual de desinfectante (geralmente cloro) ao longo de toda a rede, tentando minimizar os produtos da desinfecção. Este é o processo mais utilizado sendo levado a cabo nos EUA e na maior parte dos países europeus, incluindo Portugal.

Outro processo utilizado na Alemanha e na Holanda é a instalação de linhas de tratamento de água que removem com elevada eficiência as fontes de carbono e outros nutrientes que suportam o desenvolvimento dos microrganismos a jusante da ETA. Neste processo, não se torna necessário

aplicar um residual de cloro à entrada do sistema de distribuição e a água chega ao consumidor isenta de cloro e dos seus subprodutos. A desvantagem deste sistema é a necessidade de uma manutenção extremamente cuidada da rede, de modo a impedir qualquer fonte de contaminação externa, já que não existe nenhuma concentração de desinfectante residual.

3.3 DECAIMENTO DO CLORO RESIDUAL

A partir do início do século XX que a desinfecção é prática regular no tratamento de água destinada a consumo humano, de forma a destruir os organismos patogénicos presentes na água. O desinfectante mais utilizado é o cloro, quer na forma de cloro gasoso, quer na forma de sais de hipoclorito. O cloro tornou-se bastante popular entre as entidades gestoras de sistemas de distribuição devido ao baixo custo deste reagente e também a sua eficiência e facilidade de utilização. Além de ser bastante eficaz no controlo de aspectos organolépticos de qualidade, na remoção de ferro e na desinfecção de tubagens e reservatórios, desempenha ainda um papel importante na manutenção da qualidade microbiológica da água distribuída através da inibição de crescimento dos microrganismos presentes na água.

Para garantir que a qualidade microbiológica da água ao longo da rede de distribuição é adequada ao consumo, é necessário garantir uma quantidade residual de cloro, ou seja, uma parte do cloro aplicada na etapa final do processo de tratamento e que não reagiu de imediato com os organismos presentes na água. O residual de cloro tem como objectivos impedir recontaminações (*regrowth*) devidas quer ao crescimentos de microrganismos já presentes na água e que escaparam ao tratamento (*breakthrough*), que a contaminações externas (*ingress*).

Tradicionalmente a dosagem de cloro na ETA é feita com base nas recomendações da Organização Mundial de Saúde, que aconselha uma concentração na gama 0,20-0,60 mg/l [OMS, 1994]. Em Portugal o Decreto de Lei 236/98 indica que o cloro residual é um parâmetro a controlar mas não define valores limite para o mesmo, referindo apenas que não deve ser prejudicial para a saúde humana. Nas situações em que a desinfecção é utilizada, deve ser levada a cabo de modo a minimizar o teor de subprodutos (como os trihalometanos), uma vez que também são definidos limites para estes compostos. Não define também limites para o cloro residual nem à saída da estação de tratamento nem ao longo da rede de distribuição. Como exemplo de prática pode citar-se os EUA onde é exigido claramente um teor mínimo de cloro de 0,20 mg/l à entrada do sistema de distribuição. De referir ainda a França que, pelo menos até à adopção da nova directiva de água de consumo, queria uma concentração mínima de 0,10 mg/l ao longo de todo o sistema.

Porém, o teor de cloro residual da água tratada introduzida nos sistemas de distribuição não se mantém constante até à torneira do consumidor. A concentração destes compostos vai diminuindo gradualmente devido a reacções que ocorrem quer no seio da água transportada nas tubagens, quer no contacto com as paredes dos diversos elementos dos sistemas de distribuição (os mais relevantes são as paredes das tubagens e os reservatórios). Este decaimento pode resultar no desaparecimento total do desinfectante e assim permitir a recontaminação bacteriológica da água transportada e os consequentes problemas de saúde pública. Este aspecto é mais relevante em zonas onde a água tem longos tempos de residência, como as localizadas em extremidades da rede e em áreas com baixo consumo.

3.3.1 DECAIMENTO NO SEIO DA ÁGUA

Segundo White (1999), o cloro participa em inúmeras reacções que se podem agrupar em três tipos:

- ❖ Oxidação
- ❖ Substituição
- ❖ Desinfecção

No primeiro caso, durante a reacção ocorre troca de electrões, actuando o cloro como oxidante, ganhando electrões. Na reacção de substituição dá-se a troca de um elemento ou porção de uma molécula por outro, neste caso o cloro. Por fim pode-se dizer que a desinfecção é a reacção do cloro com organismos indesejáveis na água, de que resulta a sua destruição.

Assim, a concentração de cloro diminui por reacção com espécies inorgânicas facilmente oxidáveis como a amónia, ferro, sulfuretos, etc.... e por reacções com compostos menos reactivos, como os constituintes da matéria orgânica tal como os aminoácidos, proteínas e outros compostos de carbono.

3.3.2 DECAIMENTO NO CONTACTO COM AS PAREDES DA TUBAGEM

Para além do consumo no seio da água transportada, o teor de cloro residual diminui também devido à interacção com as paredes das tubagens. Este contacto ocorre quando os materiais são novos, quer quando já estão em funcionamento há vários anos, sendo as reacções diferentes nos dois casos.

No caso de materiais sintéticos (como por exemplo o PVC e o PEAD) a interacção é fraca se a tubagem é nova, sendo porém significativa quando se desenvolvem camadas de bactérias fixas nas paredes internas. Neste tipo de tubagem e na ausência de biofilme, o consumo de desinfectante resulta provavelmente da oxidação de moléculas à superfície do material (Holt et al, 1998).

No caso de tubagens constituídas por materiais metálicos a reacção entre o cloro e a tubagem é grande devido ao fenómeno da corrosão. Holt et al sugerem, que a presença de biofilmes neste caso diminui esta componente de consumo de cloro, principalmente nas condutas de maior idade, uma vez que o acesso do desinfectante ao metal é dificultado pelo biofilme.

Segundo o mesmo autor e com base em testes laboratoriais pode-se afirmar que as superfícies metálicas, sendo altamente reactivas ao cloro, consomem cerca de 20 a 130 vezes mais cloro que o PVC e epóxy, sendo o menos reactivo o polietileno que consome entre 1400 a 34000 vezes menos que o ferro.

Em 1998 Kiéné et al, utilizando água proveniente de sistemas de distribuição reais, avaliaram as contribuições de cada componente de consumo de cloro no caso de materiais plásticos e materiais ferrosos, as conclusões desse estudo são as seguintes:

- ❖ No caso dos plásticos, o consumo devido ao material é desprezável (na ordem dos 2%);
- ❖ Ainda no caso dos plásticos, o consumo devido à presença de biofilme, apesar de maior que o devido ao material, é inferior ao consumo de cloro inerente à água transportada;
- ❖ No caso de materiais ferrosos, o maior consumo de cloro é devida ao material e não ao biofilme;
- ❖ Os depósitos que se acumulam em determinados pontos do sistema de distribuição constituem uma fracção importante do consumo, sendo mesmo a mais relevante no caso dos materiais sintéticos.

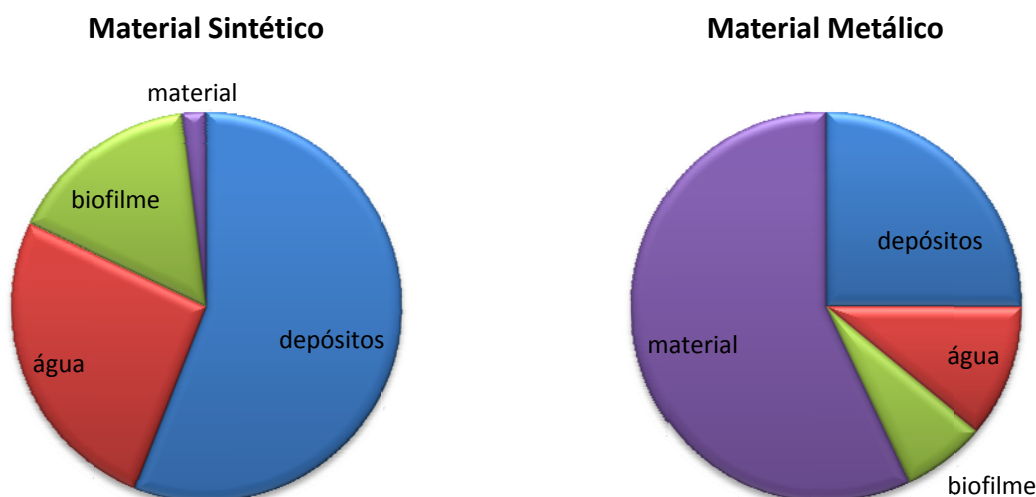


Figura 3.3.1- Contribuição relativa das diversas componentes do consumo do cloro (adaptado de Kiéné et al, 1998)

O consumo da parede depende do diâmetro, do material (tipo e rugosidade) e da idade (estado de conservação, presença de biofilme, existência de corrosão) das tubagens e das condições hidrodinâmicas (velocidade, regime hidráulico, tempo de residência no sistema).

3.3.3 BIOFILMES

O biofilme é uma camada de microrganismos mantidos coesos num ambiente aquático por uma matriz polimérica ligada a uma superfície orgânica ou inorgânica (nos sistemas de distribuição este suporte inerte é essencialmente a parede das tubagens). A matriz é constituída por um emaranhado de polímeros orgânicos produzidos e excretados pelos microrganismos. Estes polímeros partem da superfície bacteriana e terminam na superfície de suporte, formando uma rede com canais preenchidos por água e que constituem 40 a 60% do volume total do biofilme. Esta estrutura protege e favorece o desenvolvimento dos microrganismos, permitindo que a água que circula através dela traga um fluxo permanente de nutrientes. [Vieira, 2002]

Segundo Haslay e Leclerc (1993), o mecanismo de formação do biofilme inclui as seguintes etapas:

- ❖ Adsorção de moléculas orgânicas presentes na água transportada à superfície da tubagem, formando um filme fino de nutrientes;
- ❖ Transporte de bactérias do seio da água para a proximidade da parede e adesão à superfície (fase extremamente rápida, pode demorar menos de um minuto);
- ❖ Fixação das bactérias por síntese de polímeros extracelulares;
- ❖ Colonização, ou seja, multiplicação celular originando o alargamento da estrutura a uma maior área, a película formada favorece também a captura de mais microrganismos e alimento;
- ❖ Envelhecimento e arranque do biofilme devido à erosão e perda de aderência (este processo é função da espessura, solidez e idade do biofilme, da velocidade da água que com ele contacta e da turbulência desse fluxo – variações bruscas de velocidade poderão favorecer o desprendimento) – as camadas mais profundas da película tornam-se deficientes em nutrientes e os microrganismos aí alojados morrem.

Em 1992, a EPA publicou uma série de factores que condicionam a formação e arranque do biofilme e, consequentemente, um maior ou menor decaimento do cloro devido ao consumo das paredes, sendo os mais relevantes os seguintes:

- ❖ Factores ambientais: o aumento da temperatura favorece o crescimento microbiológico, uma vez que acelera as reacções e a difusão de substratos. Consequentemente, o desaparecimento do residual de cloro é também mais rápido. Por outro lado o consumo de água aumenta (devido à rega de jardins, enchimento de piscinas, banhos, etc.), o que provoca o aumento de caudais e velocidade na rede, diminuindo a estagnação da água transportada e desfavorecendo o desenvolvimento do biofilme.
- ❖ Características do sistema de distribuição:
 - a) Material e idade da tubagem: a maior rugosidade da parede interna da tubagem facilita a adesão dos microrganismos e, portanto, a formação do biofilme (maior tendência para o aparecimento nas tubagens de ferro ou fibrocimento do que nas de materiais plásticos). Em tubagens velhas, essa tendência é também notória uma vez que a deterioração provoca o aumento da rugosidade (principalmente em condutas metálicas devido à corrosão);
 - b) Efeitos hidráulicos: com as alterações sazonais e diárias dos consumos, a velocidade com que a água circula nas tubagens varia e influencia o desenvolvimento de biofilme de vários modos. Regimes turbulentos aumentam o número de choques entre partículas, proporcionam fluxos elevados de nutrientes mas também de desinfectantes e aumentam o atrito nas superfícies causando o arranque. Alterações bruscas da velocidade (devido a variações de consumo mas também devido a rupturas, ao uso de bocas de incêndio e a praticas de manutenção de rede como o *flushing* periódico) poderão favorecer também o desprendimento do biofilme. No dimensionamento do sistema de distribuição, são por vezes criadas zonas com grandes tempos de permanência da água nas quais a perda de desinfectante residual é mais acentuada. Na ausência de desinfectante residual o crescimento microbiológico deixa de ser inibido. O efeito global do regime hidráulico sobre a velocidade de crescimento do biofilme, e consequentemente sobre o decaimento de cloro, resulta do balanço de todos estes factores e não está totalmente estudado;
- ❖ Parâmetros químicos:
 - a) Nutrientes: no caso dos coliformes e bactérias heterotróficas, os nutrientes principais necessários são o carbono, o azoto e o fósforo. No domínio das águas de consumo, o carbono tem sido considerado o reagente limitante destes três macronutrientes (Prévost et al, 1998), afirmando-se que o Carbono Orgânico Dissolvido Biodegradável (CODB) é o alimento das bactérias do biofilme e como tal a sua concentração diminui ao longo dos sistemas de distribuição à medida que aumenta a distância ao ponto de entrada. Este carbono orgânico presente na água é essencialmente de origem natural, resultando de restos de vegetação e sendo composto por ácidos húmicos e fúlvicos, hidratos de carbono poliméricos, proteínas e ácidos carboxílicos (EPA, 1992);
 - b) Desinfectantes: a presença de um residual de desinfectante não impede, mas, restringe a formação de biofilmes e influencia a sua distribuição na superfície da tubagem. Em 1990 McFeters apresentou um estudo levado a cabo por Van der Wende e Characklis em que foi demonstrado que a quantidade de biofilme acumulado num sistema dependia da concentração de cloro que circulava na água. A matriz polimérica do biofilme protege os microrganismos da acção germicida, uma vez que

ela própria consome desinfectante, originando uma diminuição de concentração do residual. Esta diminuição de concentração permite que o biofilme se desenvolva mais facilmente, embora não tão rapidamente como na situação de total ausência de desinfectante.

Na Figura 3.3.2 podemos ver uma ilustração dos elementos com que o cloro eventualmente reage.

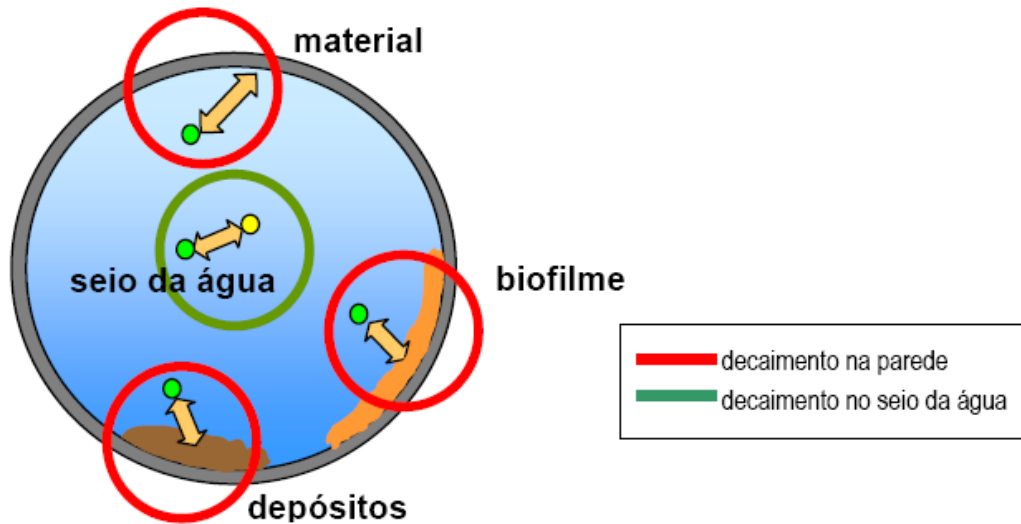


Figura 3.3.2 - Componentes do decaimento do cloro em sistemas de distribuição

4

FORMULAÇÃO E MODELAÇÃO HIDRÁULICA

4.1 GENERALIDADES

A simulação do funcionamento hidráulico de um sistema de abastecimento de água, através de modelos computacionais, constitui uma ferramenta poderosa que pode ser utilizada, tanto na concepção de sistemas de abastecimento de água como na sua exploração e manutenção.

Um modelo hidráulico deve traduzir as características físicas e hidráulicas das componentes do sistema através de um conjunto de equações matemáticas que representam a geometria e as relações hidráulicas entre os vários elementos que constituem o sistema. A evolução progressiva dos meios informáticos permite estudar sistemas de grande complexidade, como sistemas de distribuição de grandes aglomerados cujo estudo seria praticamente impossível através de métodos tradicionais.

Alegre (1990), classifica os modelos em três famílias fundamentais:

- ❖ Modelos de simulação estática;
- ❖ Modelos de simulação dinâmica;
- ❖ Modelos de dimensionamento.

Os modelos de simulação estática podem ser utilizados tanto para apoio à exploração (operação de sistemas sem equipamento de telegestão), como para apoiar à remodelação de sistemas que se encontram a funcionar deficientemente.

Os modelos dinâmicos, os mais utilizados no decorrente trabalho, simulam o funcionamento de um sistema ao longo do tempo, ou seja, representam como que um filme dos acontecimentos do sistema. Os consumos nos nós de junção, as cotas dos níveis da água nos reservatórios e as relações de altura de elevação/caudais em estações elevatórias apresentam variações diárias e sazonais. Existem também válvulas de diversos tipos que podem estar ou não activas, conforme as condições do escoamento ao longo do tempo. As condições de equilíbrio são então definidas para determinadas condições fronteira, tal como o consumo nos nós, cotas dos níveis dos reservatórios, situação operacional das estações elevatórias e válvulas para cada instante t , tal como nos modelos estáticos, e a partir das soluções dessas equações analisa-se o instante imediatamente seguinte. Desta forma, é importante que o intervalo de tempo decorrente entre dois instantes contíguos seja reduzido para que as previsões obtidas se aproximem o mais possível da realidade.

Num sistema de distribuição, a análise dinâmica depende, basicamente, do princípio fundamental do balanço de massa, ou seja, para um certo intervalo de tempo, a água que abastece um sistema, menos a água consumida é igual à variação da água armazenada no sistema.

De referir, como breve nota histórica, que o primeiro simulador que permitiu estimar o comportamento hidráulico de redes de distribuição de água, datado de 1924, deveu-se a Camp e Hazen. A metodologia utilizada baseava-se na analogia existente entre o escoamento em redes de distribuição de água e a passagem de corrente em circuitos eléctricos, propriedade que lhe conferiu a designação de método analógico. Com este simulador era possível construir circuitos eléctricos com a mesma configuração da rede que se pretendia simular, simulando o efeito de perdas de carga na conduta com a introdução de resistências eléctricas. Este “simulador” produzia erros consideráveis sendo necessário recorrer a alguns cálculos de forma a corrigir desvios de comportamento, porém face à inexistência de alternativas e devido à sua simplicidade e rapidez quando comparado com os cálculos que eram normalmente efectuados, este método tornou-se bastante popular.

Paralelamente a estes desenvolvimentos, em 1936, Hardy Cross apresentou aquele que viria a ser o primeiro método numérico para cálculo hidráulico de redes de distribuição de água. Este método, devido à sua simplicidade, tornou-se bastante comum no entanto, o tempo necessário para proceder ao cálculo de qualquer rede, mesmo quando de pequena dimensão, era demasiado elevado. Este cenário viria a alterar-se na década de 1960 com o aparecimento dos primeiros computadores digitais, que tinham capacidade para efectuar rapidamente procedimentos de cálculo repetitivos, aumentando assim a popularidade deste tipo de métodos, destronando os antigos métodos analógicos.

O desenvolvimento tecnológico do sector informático, tanto ao nível de hardware como de software de desenvolvimento, permitiu a criação de simuladores com capacidade para modelar redes de distribuição de água de qualquer tipo, incluindo vastas gamas de acessórios, e com qualquer dimensão. Posteriores desenvolvimentos incluíram a possibilidade de modelar o comportamento dos sistemas ao longo do tempo (que se viria a chamar modelação dinâmica), e, em simultâneo, modelar a qualidade da água. Em termos de qualidade da água é hoje possível modelar a variação de concentração de desinfectantes, como o cloro, e conhecer os trajectos que a água percorre no interior do sistema, bem como o respectivo tempo de permanência, desde que sai do reservatório até chegar ao ponto de consumo.

A utilização cada vez mais frequente de computadores e o desenvolvimento constante de métodos cada vez mais potentes e fáceis de utilizar deram origem a uma nova indústria, vocacionada para o desenvolvimento de aplicações dirigidas ao sector de abastecimento de água, indo assim, de encontro às necessidades dos utilizadores.

Actualmente existem vários modelos com capacidade para satisfazer as necessidades dos utilizadores, mas também muitos factores a ponderar no processo de selecção. A estratégia básica a utilizar consiste na comparação das características dos modelos disponíveis, baseada na informação disponibilizada pelos fornecedores e na experiência de outros utilizadores.

A selecção de um programa para simulação de um sistema de abastecimento de água deve ter em conta prioritariamente o fim a que se destina, o que determina o tipo de análise a efectuar - estática, dinâmica, de qualidade, etc.

Segundo Dias, (2002) paralelamente devem ser analisados:

- ❖ O custo;
- ❖ A facilidade de utilização;
- ❖ A operacionalidade e flexibilidade do programa;
- ❖ A robustez do modelo;
- ❖ A velocidade de processamento;
- ❖ As componentes representadas;

- ❖ A interface com o utilizador;
- ❖ As características do modelo de qualidade;
- ❖ A integração com bases de dados;
- ❖ O apoio técnico e a documentação.

O custo está muitas vezes ligado com o tamanho da rede a analisar. Alguns modelos operam em conjunto com software de CAD³, sendo necessário analisar esta componente. Para pequenas instalações não é utilizada esta ferramenta frequentemente. Nestes casos a utilização de um modelo dispendioso pode ser imprudente, enquanto para grandes instalações o capital associado à aquisição de modelo não será significativo.

A facilidade de utilização é um factor subjectivo, mas com alguma importância para muitos utilizadores. A ajuda em linha e a interface gráfica são duas das ferramentas que contribuem para facilitar a utilização. A existência de um módulo que permita detectar possíveis erros na entrada de dados e respectivas causas, constitui uma vantagem apresentada por alguns programas.

A maior parte dos programas corre em vários sistemas operativos tornando-os operacionais para a maior parte dos computadores.

A entrada de dados deve ser, de preferência, em formato livre e possuir adequada flexibilidade, permitindo de forma simples modificar ou ampliar a dimensão de ficheiros de entrada e saída. A possibilidade de expandir ou modificar a análise e a capacidade de apresentação dos resultados conferem alguma flexibilidade ao modelo. O utilizador deve poder controlar o detalhe da saída de dados e poder fornecer o número de iterações e o valor do indicador de convergência. O programa deve ser suficientemente flexível de modo a permitir ao utilizado verificar os resultados após um número de iterações especificado. Isto permite testar a convergência e determinar a diferença e eficiência das iterações extra.

Robustez é a capacidade do modelo para encontrar a melhor solução de entre várias situações. Qualquer dos métodos numéricos de resolução estáticos ou dinâmicos pode ser adequando, desde que revele propriedades de convergência e estabilidade. A rapidez de convergência de qualquer método depende da aproximação da solução inicial à solução real. Alguns programas incorporam algoritmos que permitem economizar tempo e espaço de memória, principalmente quando se pretende simular varias condições de funcionamento. Em sistemas com múltiplas válvulas em que cada uma influencia o comportamento da outra, podem existir problemas de convergência.

A velocidade do modelo pode ser medida em termos de tempo necessário para processar uma aplicação do modelo e/ou do tempo que demora a apresentar graficamente os resultados. Atendendo ao grande desenvolvimento dos computadores, a velocidade de processamento deixa de ser um problema, a não ser para sistemas muito grandes ou para simulações muito demoradas.

Um programa deve ter capacidade para simular todas as componentes do sistema (nós, troços, bombas, válvulas, reservatórios, etc.) e especificar os tipos de controlo necessário, em condições dinâmicas.

Tem havido grandes avanços na interface com o utilizador. A interface gráfica evoluiu em poucos anos de uma ferramenta disponível num número reduzido de computadores para uma ferramenta presente em praticamente todos os casos. Nos modelos de abastecimento de água esta interface deve incluir vários tipos de gráficos e opções tabulares, para visualizar resultados e para introduzir ou editar características do sistema.

³ Computer Aided Design

Se o objectivo da análise inclui o conhecimento da qualidade da água, então o modelo deve ter capacidade para fazer simulações em período alargado de substâncias conservativas e não conservativas e ainda ter capacidade para determinar a idade da água em qualquer ponto do sistema e a percentagem do caudal que, partindo de um determinado nó, atinge todos os outros ao longo do tempo.

O apoio técnico que os fornecedores do modelo possam prestar é muito importante, principalmente para utilizadores inexperientes. O apoio pode ser aprestado no local, por telefone ou, “online”.

De um modo geral, as aplicações informáticas actuais mais utilizadas são o EPANET (que foi utilizado no decorrer deste trabalho), o *H₂O net*, o *H-NetCAD*, o *WaterCAD* e o *MIKE NET*. Descreve-se em seguida com mais pormenor o programa EPANET.

4.2 PROGRAMA DE CÁLCULO EPANET

O EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição. Uma rede é constituída por tubagens, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios variável. O EPANET permite obter os valores do caudal em cada tubagem, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividindo em múltiplos passos de cálculo. Adicionalmente, para além de espécies químicas, o cálculo da idade da água e o rastreio da origem de água em qualquer ponto da rede também podem ser levados a cabo.

O modelo hidráulico utilizado pela versão 2 do EPANET resolve, em período alargado, o sistema de equações aplicadas aos nós e troços da rede através do Método do Gradiente.

O modelo de qualidade utiliza os causais da simulação hidráulica para resolução das equações de transferência e de conservação de massa através do algoritmo de transporte lagrangeano – MCT.

A versão executável do EPANET em Windows pode ser obtida gratuitamente na Internet na versão portuguesa (endereço <http://www.dha.lnec.pt/nes/epanet>) e na versão original (endereço <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>), juntamente com os respectivos manuais de utilização.

4.2.1 POSSIBILIDADES E/OU CAPACIDADES

❖ Hidráulicas

- Tamanho da rede a analisar sem limite;
- Possibilidade de optar, para cálculo das perdas de carga contínuas, pelas formas de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams ou Manning-Strickler;
- Cálculo de perdas de carga localizadas em singularidades;
- Modelação de bombas com velocidade de rotação constante ou variável;
- Modelação de vários tipos de válvulas – seccionamento, reguladores de pressão e caudal;
- Modelação de reservatórios com qualquer forma.

❖ De qualidade

- Mistura de água de diferentes origens;
- Determinação da idade da água em qualquer ponto do sistema;
- Decaimento ou crescimento de substâncias presentes na água, como por exemplo o cloro residual ou sub-produtos da desinfecção;
- Possibilidade de prosseguir a propagação de um contaminante.

- ❖ Gestão e visualização de dados
 - a) Importa ou exporta a descrição geométrica da rede, e as coordenadas dos nós em formato de texto, simplificando o processo de transferência de dados de outros programas;
 - b) Importa e exporta diferentes cenários de funcionamento, formados por sub-conjuntos de dados que caracterizam as condições de funcionamento da rede (consumos, qualidade inicial, rugosidade, reacções, controlos);
 - c) Sistema “point-click” e etiqueta flutuante que acompanha o rato;
 - d) Editores especiais para a entrada ou alteração de dados;
 - e) Função “Query” e filtros;
 - f) Visão em planta das propriedades dos troços e nós utilizando diferentes cores que representam classes de valores, de acordo com uma escala que pode ser alterada pelo utilizador;
 - g) Visão animada no tempo, dos resultados da análise.

4.2.2 APLICAÇÃO PRÁTICA

A aplicação prática deste programa é feita num certo número de passos (Dias, 2002):

- ❖ Entrada de dados;
- ❖ Análise do comportamento hidráulico e de qualidade da rede;
- ❖ Saída de resultados;
- ❖ Calibração dos resultados.

Quanto à entrada de dados, podemos distinguir os dados relativos aos nós, os dados relativos aos troços e as condições de operação.

- a) Os dados associados a cada nó são: o número de identificação, a cota, o consumo e a qualidade inicial. É possível associar a cada nó diferentes categorias de consumos e considerá-los origens de água ou de qualidade para simular locais de entrada de água proveniente de outros sistemas ou de entrada de uma substância química como, por exemplo, uma estação de recloração.
Os reservatórios que abastecem as redes de distribuição podem considerar-se nós de origem se fornecem água sem restrições, como por exemplo, uma albufeira, um rio, ou um aquífero subterrâneo com caudal constante ou uma estação de tratamento, considerando-se assim reservatórios de nível fixo. Os nós que dispõem de capacidade de armazenagem limitada, em que o seu volume varia com o tempo durante a simulação, consideram-se reservatórios de nível variável e devem funcionar entre um nível máximo e mínimo. Os dados associados aos reservatórios de nível fixo são a cota piezométrica e a qualidade da água, podendo ambos os parâmetros ser quantificados através de um valor fixo ou de um padrão temporal. Quanto aos reservatórios de nível variável são associados a cota de soleira, o diâmetro ou a curva de volume, o nível de água inicial, mínimo e máximo e a qualidade inicial.
- b) Os dados relativos a cada troço são: o número de identificação, o nó inicial e final, o comprimento, o diâmetro, os coeficientes de cálculo de perdas de carga contínua e localizadas, as condições iniciais (fechado, aberto, unidireccional) e os coeficientes de reacção de um parâmetro de qualidade no seio da água e junto as paredes das tubagens e reservatórios. Consideram-se troços as tubagens, as bombas e as válvulas.
- c) Quanto às condições de operação, estas são traduzidas no modelo por padrões, curvas e controlos, aplicando-se aos troços e aos nós.

Os padrões permitem variação de um parâmetro ao longo do tempo, como por exemplo os consumos (já referido em 2.2.6), a carga hidráulica nos reservatórios, a qualidade na origem, o custo de energia e a eficiência das bombas.

As curvas representam pares de dados que traduzem uma relação entre as duas variáveis. Podem definir-se curvas de bombas, eficiência, volume e perdas de água. As curvas de bombas podem ser definidas por múltiplos pontos (entrando com altura manométrica e caudal para cada ponto da curva). As curvas de eficiência são utilizadas para calcular o consumo de energia e representam o rendimento (em percentagem) em função do caudal, tendo em conta as perdas mecânicas causadas na bomba e as perdas eléctricas causadas no motor. As curvas de volume representam a variação de volume de um tanque em função ao nível de água e são utilizadas para tanques em que a secção transversal é variável em altura. Por sua vez, os controlos são regras que permitem estabelecer as condições de operação ao longo do tempo, permitindo especificar o estado (aberto ou fechado) de troços seleccionados, os níveis de água nos reservatórios e pressões em determinados pontos do sistema, em função do tempo. Podem ser utilizados dois tipos de controlos, os primeiros, chamados controlos simples estabelecem apenas uma condição, os segundos, são os controlos baseados em múltiplas condições de funcionamento e como o nome indica permitem estabelecer um conjunto de condições que ocorrem simultaneamente.

Depois de efectuada a entrada dos dados relevantes no sistema que se pretende simular segue-se então a análise do comportamento hidráulico e de qualidade do sistema. Essa análise é efectuada através das seguintes opções:

- a) Opções hidráulicas – determinam como deve ser analisado o comportamento hidráulico da rede. Permitem seleccionar:
 - i. O sistema de unidades;
 - ii. A fórmula de cálculo das perdas de carga;
 - iii. O valor da gravidade;
 - iv. A viscosidade relativa;
 - v. O número máximo de iterações para resolução das equações que traduzem a hidráulica do escoamento;
 - vi. O critério de convergência;
 - vii. O padrão por defeito;
 - viii. Um multiplicador que permite variar todos os consumos de um montante fixo;
 - ix. O expoente para modelar aspersores ou fugas
 - x. Forma de apresentação dos resultados (resumidos ou por extenso).
- b) Opções para reacções – permitem seleccionar:
 - i. O tipo de reacções a incluir na análise de qualidade (a reacção no seio da água, que pode ser simulada como de primeira, segunda ou de ordem n , a reacção na parede de tubagem que pode ser simulada como zero ou de primeira ordem);
 - ii. O valor do coeficiente de reacção no seio da água para toda a rede (este valor pode ser sobrepostos por valores atribuídos a nós específicos);
 - iii. O valor do coeficiente de reacção nas paredes em toda a rede (este valor pode ser sobreposto por valores atribuídos a troços específicos);
 - iv. O limite máximo ou mínimo, respectivamente para o crescimento ou decaimento da concentração e o coeficiente de correlação entre o coeficiente de reacção das paredes e respectiva rugosidade.

- c) Opções de tempo – estabelecem os valores dos vários intervalos de tempo utilizados na modelação em período alargado tais como:
 - i. A duração total da simulação;
 - ii. O intervalo de tempo para o cálculo hidráulico;
 - iii. O intervalo de tempo para a modelação de qualidade;
 - iv. O intervalo de tempo para os padrões;
 - v. O intervalo de tempo para a apresentação dos resultados;
 - vi. O instante do início da simulação;
 - vii. O tipo de processamento estatístico utilizado na apresentação dos resultados de uma simulação dinâmica num relatório.

- d) Opções de energia – permitem fornecer valores para calcular a energia consumida pelas bombas e o respectivo custo, tais como:
 - i. O rendimento dos grupos electrobombas;
 - ii. O preço da unidade de energia;
 - iii. O padrão de preços.

Por fim, depois da configuração de todos os elementos necessários para a simulação hidráulica e de qualidade procede-se à visualização dos resultados que pode fazer-se de várias formas:

- a) Tabelas dos troços – na saída em tabelas para cada troço o modelo fornece:
 - i. Velocidade;
 - ii. Perda de carga;
 - iii. Taxa de reacção;
 - iv. Qualidade da água em relação ao parâmetro analisado.

- b) Tabelas dos nós – para cada nó, o modelo fornece:
 - i. Cota piezométrica;
 - ii. Pressão;
 - iii. Qualidade da água.

De referir que é possível seleccionar os resultados de um parâmetro ou de varias parâmetros para um intervalo de tempo específico da simulação, assim como também é possível filtrar valores para condições definidas.

- c) Os resultados também podem sair em gráficos, podendo seleccionar-se os tipos que a seguir se apresentam como exemplo:
 - i. Gráfico de uma série temporal – representa valores do parâmetro seleccionado em função do tempo (Figura 4.2.1), para qualquer troço ou nó durante o período de simulação.

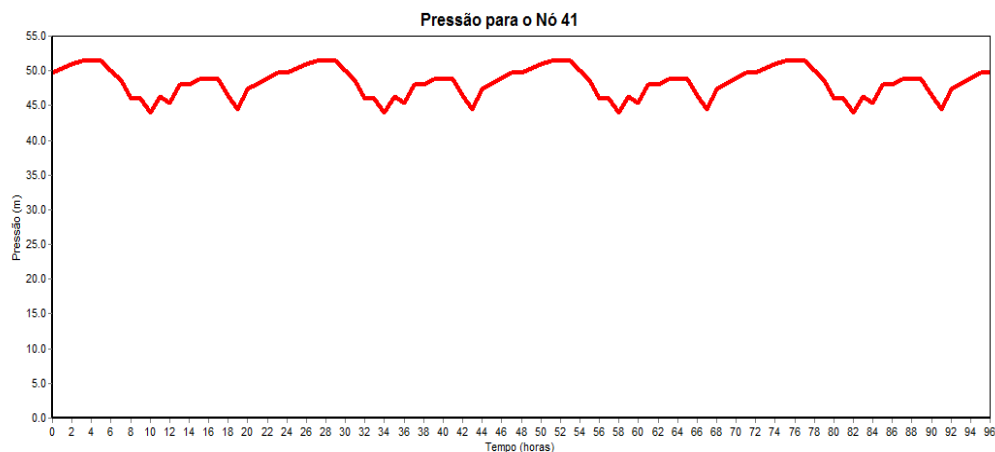


Figura 4.2.1 - Pressão no nó 41 durante a simulação

- ii. Gráfico de perfil – representa valores do parâmetro seleccionado em função da distância para um conjunto de nós num intervalo de tempo especificado (Figura 4.2.2).

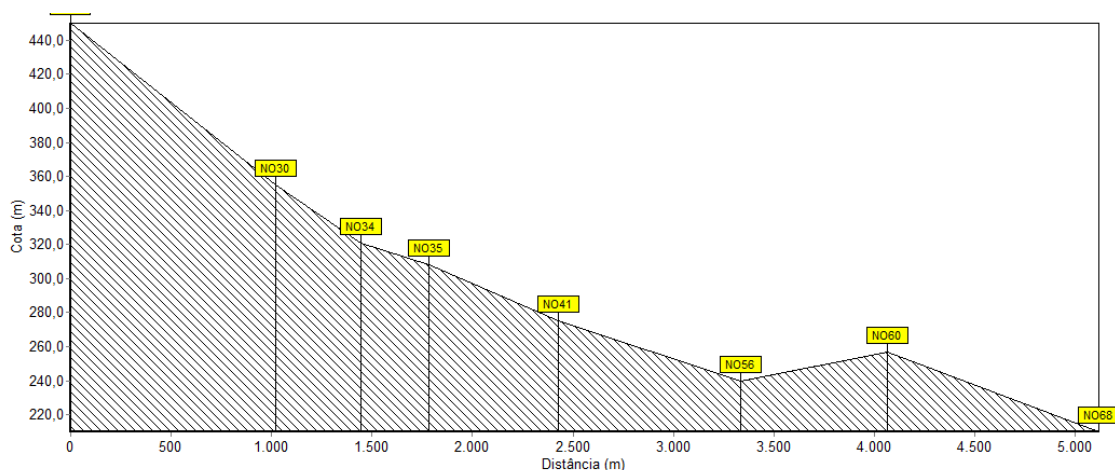


Figura 4.2.2 - Perfil de uma parte da rede em estudo

- iii. Gráfico de isolinhas – mostra as regiões do mapa em que os valores do parâmetro seleccionado caem dentro de intervalos específicos, para todos os nós num dado instante de tempo (Figura 4.2.3).

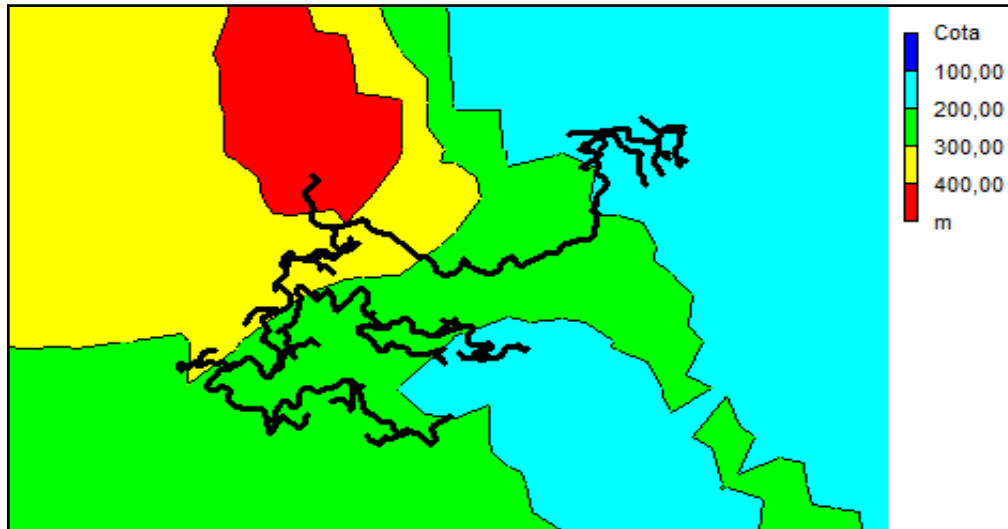


Figura 4.2.3 - Distribuição espacial das cotas dos nós da rede em estudo

- iv. Gráfico de frequência – representa os valores de um parâmetro em função da percentagem de objectos (troços ou nós) que não excedem um determinado valor (Figura 4.2.4)

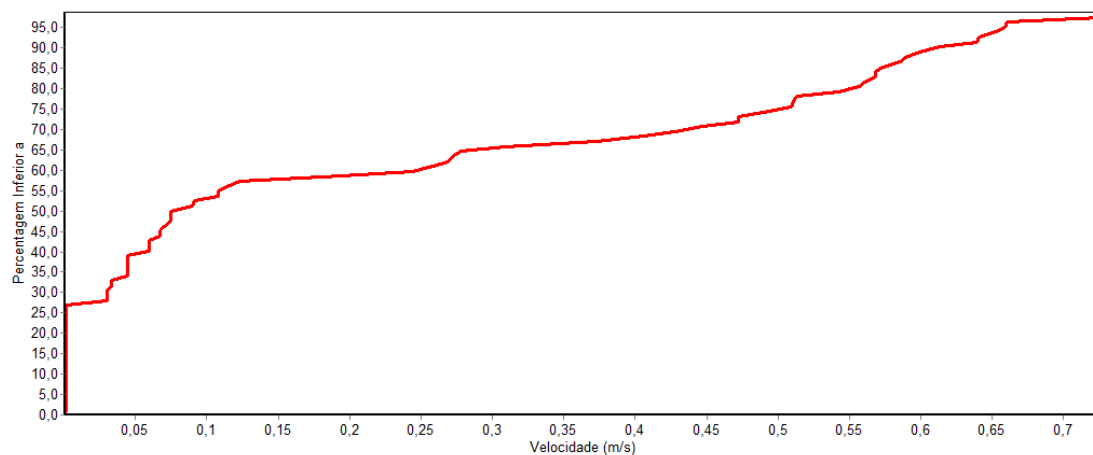


Figura 4.2.4 - Distribuição da velocidade no sistema na 96ª hora

- v. Gráfico de reacção – representa em percentagem, a influência da variação de um parâmetro, (como por exemplo o cloro) das características da água ou das paredes da tubagem ou dos reservatórios, mostrando a significância de cada um desses factores na água (Figura 4.2.5).

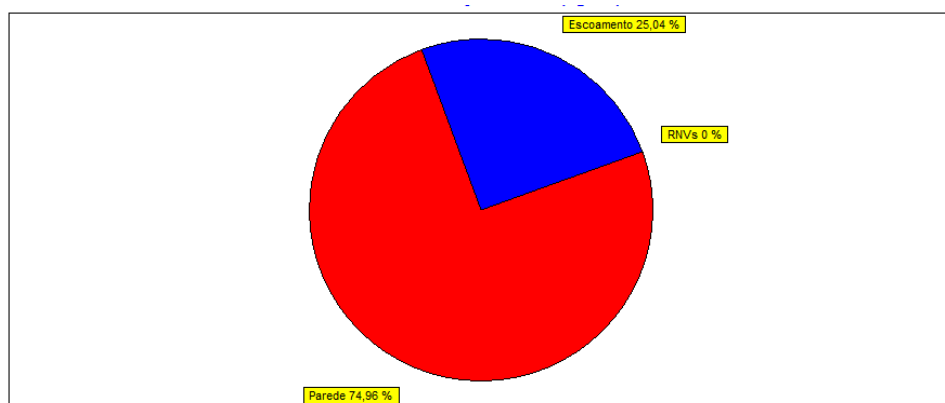


Figura 4.2.5 - Taxas de reacção médias

4.3 PARÂMETROS RELEVANTES NA MODELAÇÃO

O objectivo deste trabalho como foi dito anteriormente é fazer um estudo, ainda que superficial, do que acontece num sistema de distribuição quando se depara com uma adesão inesperadamente baixa por parte das populações abrangidas pelo sistema, ou então com consumos muito inferiores ao previsto.

Os modelos computacionais de qualidade da água como foi referido simulam o transporte, mistura e crescimento ou decaimento de parâmetros de qualidade da água durante um determinado intervalo de tempo, sendo uma ferramenta eficaz para o estudo dos pontos de cloragem no sistema e o respectivo doseamento.

No entanto, a experiência demonstra claramente que a sua eficácia depende de serem verificadas as seguintes condições fundamentais (Vieira, Coelho, & Praça, 2002):

- a) O modelo deverá ser completo, ou seja, deverá incluir todas as tubagens através das quais possa ocorrer o escoamento no sistema;
- b) O modelo hidráulico em que se baseia deverá estar cuidadosamente calibrado, nomeadamente no que diz respeito às perdas de carga unitárias e, de forma crucial, aos consumos a satisfazer;
- c) As condições operacionais para as quais se pretende trabalhar deverão estar bem modeladas;
- d) No estudo do cloro residual, as respectivas cinéticas de decaimento deverão estar bem caracterizadas, tanto em relação as reacções no seio da água como àquelas devidas ao contacto com as paredes dos componentes do sistema, especificamente para a água a circular no sistema em causa⁴.

A condição b) é um domínio em que os sistemas de adução apresentam menos dificuldades do que os sistemas de distribuição urbana, pois alimentam um número limitado de pontos de consumo (venda), e possuem habitualmente medição contínua de caudais através da rede, nomeadamente nas entregas. A estimativa de perdas de carga é simplificada nos troços de construção recente, pelo melhor conhecimento do seu estado. Já nos sistemas de distribuição, é usual uma maior dificuldade na correcta estimativa dos coeficientes de rugosidade, pela maior variedade de materiais e idades, e maior dificuldade em manter actualizado o registo cadastral.

⁴ A variabilidade das condições ambientais, dos tipos de água e das suas interacções com os sistemas faz com que a utilização de constantes e modelos obtidos em diferentes condições tenha uma validade muito discutível quanto aos resultados obtidos na modulação.

Por outro lado, c) poderá parecer uma condição redundante, dada a condição b). No entanto é frequente a existência de sistemas de adução com um número considerável de reservatórios de percurso ou entrega e com bombeamentos intercalares, revelarem um comportamento muito mais complexo do que o seu aspecto linear deixa antever. A interacção dos vários reservatórios e grupos elevatórios é sensível e os modos de operação são frequentemente complicados, o que exige rigor e cuidado adicionais na sua modelação.

Para a correcta aplicação dos resultados da modelação, parte-se assim do princípio que as condições a) a c) serão satisfeitas. Os resultados obtidos através de modelos aproximados ou não calibrados, como são o caso dos utilizados na fase de planeamento/dimensionamento, ou fazendo uso de estimativas de consumo pouco fiáveis, não poderão ter um grau de precisão superior ao dos dados em que se baseiam.

Deve observar-se que o desenvolvimento de um modelo de simulação fiável é, tanto para a componente hidráulica como para a de qualidade da água, uma opção de fundo na gestão moderna de um sistema de abastecimento de água, que excede em muito o interesse específico do controlo de desinfecção residual. A utilidade de um modelo de simulação é incontornável e diariamente atestada pela experiencia de inúmeras entidades gestoras em todo o mundo.

Assim sendo, e de acordo com presente estudo, na impossibilidade de satisfazer todos os requisitos, alguns parâmetros adquirem maior relevância que outros, sendo os mais importantes neste caso a velocidade de escoamento, a qualidade da água e a pressão de serviço.

4.3.1 VELOCIDADE DE ESCOAMENTO

No que se refere à velocidade de escoamento, considerou-se que sempre que possível, as velocidades deveriam ser superiores a 0,3 m/s e inferiores a 1,5m/s, sendo que nos troços com velocidades muito baixas, dimensionados com o diâmetro mínimo regulamentar, é necessário prever dispositivos que permitam fazer regularmente a limpeza das tubagens.

4.3.2 PRESSÃO DE SERVIÇO

Na avaliação do desempenho do sistema relativamente a este parâmetro, admitiu-se que o bom funcionamento do sistema de abastecimento pressupõe que a pressão mínima das condutas se encontra entre um limite mínimo de 10 m.c.a. e um limite máximo inferior à pressão nominal das condutas (neste caso em que o material é PEAD PN10, corresponde a 100 m.c.a.). Porém, o regulamento (Decreto Regulamentar 23/95) recomenda como pressão máxima nos troços com distribuição 60 m.c.a., sendo em alguns pontos necessária a instalação de câmaras de perda de carga ou de válvulas reductoras de pressão para que a pressão se mantenha nos limites adequados.

4.3.3 QUALIDADE DA ÁGUA

Quanto à qualidade da água, este parâmetro acabou por ser o mais relevante ao longo de todo o projecto, juntamente com a velocidade de escoamento, já que os dois parâmetros estão relacionados como vimos anteriormente (baixas velocidades levam a maiores tempo de percurso e consequentemente a um maior decaimento do cloro residual.)

Considerou-se que o desinfectante a utilizar seria o cloro, sendo portanto necessário determinar quais seriam os coeficientes de decaimento a considerar, nomeadamente o coeficiente de reacção no escoamento (ou seio da água k_{bulk}) e o coeficiente de reacção no contacto com as paredes (k_{wall}). Para a determinação destes coeficientes recorreu-se a pesquisa bibliográfica, tendo-se encontrado um leque muito grande de valores para cada um dos coeficientes, o que, poderá introduzir uma margem de erro

considerável, principalmente tendo em conta que se trata de parâmetros sensíveis na análise de decaimento do cloro.

Assim sendo optou-se por utilizar valores para estes coeficientes obtidos por Dias (2002), relativos ao Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água à Área Norte do Grande Porto, sistema este que integra os Municípios de Barcelos, Esposende, Vila Nova de Famalicão, Santo Tirso, Trofa, Vila do Conde, Póvoa de Varzim e Maia (Norte), concessionado à Sociedade Águas do Cávado, SA.

Este estudo que teve como objectivo parcial a modelação hidráulica e de decaimento do cloro no sistema adutor e em parte da rede de distribuição englobou a calibração de modelos, realizada com base em resultados obtidos em campanhas experimentais, de forma a tornar os modelos credíveis e adquirir conhecimentos que potenciem a utilização em sistemas semelhantes.

O trabalho de laboratório consistiu do decaimento da concentração de cloro devido as características da água através da realização de “testes de garrafa”.

Estes testes consistem em acondicionar as amostras em frascos, tipo Winkler, de 125 ml de capacidade, com tampa estanque e forrados exteriormente com folha de alumínio. Os frascos são mantidos à temperatura da rede e ao abrigo da luz, medindo-se a concentração de cloro em diferentes intervalos de tempo, de modo que o decaimento em cada intervalo seja aproximadamente 10%.

Para eliminar a carência em cloro do material, os frascos são previamente submetidos a uma solução de hipoclorito de sódio com uma concentração de 1 mg/l. Permaneceram em repouso durante 24 horas e no fim deste período são lavados com água destilada e colocados a secar.

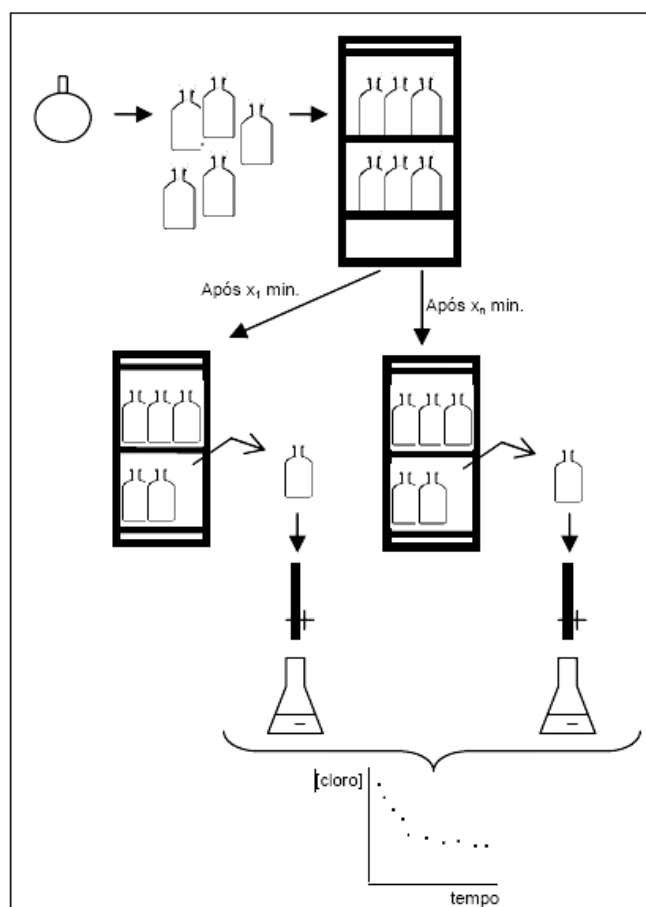


Figura 4.3.1 - Metodologia para determinação da constante cinética de decaimento de cloro no seio da água (Vieira e Coelho, 2000)

Para determinação dos valores de constantes cinéticas de decaimento de cloro para a utilização em modelação, os resultados obtidos nos “testes de garrafa” são ajustados através de modelos cinéticos que descrevem a diminuição da concentração de cloro ao longo do tempo. Na última década foram propostas varias leis cinéticas globais, sendo as mais utilizadas apresentadas no Quadro 4.3.1. O modelo de 1ª ordem, onde a velocidade de reacção é proporcional à concentração de cloro, é o de maior simplicidade e tradicionalmente usado nos modelos de simulação, apesar de o modelo de

primeira ordem paralela proporcionar normalmente melhores ajustes e maior flexibilidade de utilização em modelos de simulação de qualidade da água nas redes. (Vieira P. , 2000)

Quadro 4.3.1 - Modelos cinéticos de decaimento do cloro

Modelo	Forma diferencial (dC/dt=)	Forma integrada (C=)	Referência
Primeira ordem	-kC	$C_0 \exp(-kt)$	(HAAS and KARRA, 1984) (ROSSMAN, 1992) (VASCONCELOS, 1997)
Segunda ordem	$-kCC_R$	$C_0(1-R)/(1-R \cdot \exp(-ut))$	(CLARK, 1998)
Ordem n	$-kC^n$	$(kt(n-1) + (1/C_0)^{(n-1)})^{-1/(n-1)}$	(HAAS and KARRA, 1984)
Primeira ordem limitada	$-k(C-C^*)$	$C^* + (C_0 - C^*) \exp(-kt)$	(HAAS and KARRA, 1984)
Primeira ordem paralela	$-k_1C_1 - k_2C_2$ com $C_{1,0} = C_0 \times$ $C_{2,0} = C_0 (1-x)$	$C_0 \times \exp(-k_1t) + C_0 (1-x) \exp(-k_2t)$	(HAAS and KARRA, 1984)

C: concentração de cloro; C_0 : concentração inicial de cloro; C_R : concentração de todas as espécies que podem reagir com o cloro; C^* : concentração limite; k, u: constantes cinéticas.

Assim, e depois de realizados os “testes de garrafa” a autora (Dias, 2002) concluiu que “o modelo de primeira ordem apresenta vantagens em relação a modelos de ordem superior. O decaimento devido às características da água (k_{bulk}) no sistema Águas do Cávado é de $-0,18 \text{ d}^{-1}$ ”.

O estudo do decaimento do cloro devido à influência das paredes das condutas, feito através de medições da concentração de cloro na saída da ETA, na entrada e saída do primeiro reservatório imediatamente a jusante desta, em pontos extremos da rede e em pontos de mudança de diâmetro conduziu a ajustamentos aceitáveis entre os valores medidos e simulados, tendo-se definido o coeficiente de reacção do cloro devido às paredes das tubagens (k_{wall}), igual a $-0,015 \text{ d}^{-1}$.

Para efeitos práticos, considerou-se que a concentração inicial de cloro à entrada na rede de abastecimento seria de 0,60 mg/l, sendo este o valor máximo admissível no sistema (acima deste valor pode haver motivo de queixa por parte dos consumidores nomeadamente devido a cheiro e sabor na água), e que o valor mínimo seria na ordem dos 0,20 mg/l, nunca descendo dos 0,15 mg/l.

De referir que em Portugal até 2007 não existia nenhum regulamento que estipulasse ou aconselhe um valor mínimo de cloro residual ao longo de toda a rede, tendo-se adoptado aquele valor como mínimo por ser referido “empiricamente” como um valor com certa margem de segurança, no que diz respeito a barreira no caso da presença de microrganismos nocivos. Porém, passo a citar, no Decreto de Lei Nº 306/2007, Anexo I, Parte III, Nota 19 afirma – “Recomenda-se que as concentrações deste parâmetro estejam entre 0,20 e 0,60 mg/l de cloro residual livre”.

Em pesquisa bibliográfica pode dar-se como exemplo o caso de França que, obrigava à presença de uma concentração de residual de pelo menos 0,10 mg/l ao longo de toda a rede de distribuição (Vieira P. , 2002), valor esse que volta a ser referido na publicação da Degremont (Water Treatment Handbook, Volume 2, 2007) como valor mínimo de cloro residual aconselhável ao longo de toda a rede.

4.3.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO

Qualquer que seja o modelo base utilizado é de importância fundamental a sua calibração para o sistema em estudo. A determinação das características físicas e operacionais de um sistema traduzido num conjunto de dados, que, quando aplicados ao modelo, forneçam valores reais ou muito próximos da realidade, constitui o objectivo da calibração (Sharmir et al, 1977).

Walski (1983) define calibração como um processo formado por dois passos. O primeiro consiste na comparação entre os caudais e pressões previstos e os medidos para condições de operações conhecidas, ou seja, grupos elevatórios, níveis de água nos reservatórios, válvulas e acessórios perfeitamente caracterizados. O segundo consiste no ajustamento dos dados de forma a melhorar a concordância entre os valores fornecidos pelo modelo e os medidos.

Já para Alegre (1990) calibrar um modelo é, como o nome indica, introduzir-lhe as correcções necessárias e suficientes para que ele reproduza com grande rigor a situação real.

A calibração de um modelo hidráulico é um processo complexo e iterativo, que consiste no ajustamento de certos dados de entrada (parâmetros), normalmente os coeficientes de resistência das fórmulas de perda de carga para cada tubagem e os consumos atribuídos a cada nó, de forma a ser obtida uma concordância entre os valores calculados pelo modelo e os correspondentes valores medidos no protótipo, ou seja, no sistema de distribuição de água real (Sousa, 1987).

A obtenção de registos de caudais, pressões e parâmetros de qualidade da água em sistemas medianamente complexos, dificilmente se consegue numa única campanha de medições. É normalmente necessário executar uma série de campanhas de medições ou instalar vários aparelhos que permitam fazer as medições em contínuo sendo recolhidos em seguida os dados. Convém referir que o número de pontos onde se efectuam as medições é dependente da disponibilidade de equipamento e do grau de complexidade do sistema.

Os principais objectivos da calibração são:

- ❖ Estabelecer um modelo credível;
- ❖ Criar um termo de comparação;
- ❖ Estabelecer um instrumento de previsão;
- ❖ Adquirir conhecimentos e compreender o funcionamento do sistema;
- ❖ Descobrir possíveis erros de construção, ou de outra natureza, na obra.

A credibilidade do modelo é estabelecida através da calibração. As hipóteses realizadas sobre um modelo não calibrado podem conduzir a decisões erradas, uma vez que, podem basear-se em dados falsos que não reflectem as condições reais do sistema. Num modelo calibrado conhece-se o grau de incerteza do modelo, o que permite fazer os ajustamentos considerados necessários.

Um modelo calibrado pode servir como base de comparação. Os seus resultados podem servir para avaliar os resultados de alterações realizadas no modelo ou os resultados de outros modelos.

A capacidade de previsão futura ou para outras condições de funcionamento diferentes, como por exemplo, a construção de novos reservatórios, a alteração das condições de bombagem etc., são objectivos que podem ser conseguidos com um modelo devidamente calibrado.

A calibração aumenta o conhecimento e a compreensão do sistema. A recolha e análise de dados para calibração fornece experiência e capacidade crítica que permite analisar e planear futuras operações, de forma a otimizar o funcionamento do sistema. A calibração é um processo de aprendizagem que pode ser utilizada para treino de operadores.

A calibração permite detectar erros ou factos inexplicáveis. Estas inconsistências levam à procura das possíveis causas e à recolha de um maior número de dados. Assim, conseguem-se detectar erros de construção ou de operação que conduzem à resolução de problemas de que não se tinha conhecimento como diâmetros incorrectos, válvulas fechadas, etc.

Um modelo deve ser calibrado no início da sua aplicação e recalibrado sempre que ocorram alterações significativas na configuração do sistema, nos processos de operação ou se verifique alteração dos

consumos que diminuam o grau de precisão para valores inaceitáveis. Deste modo, a recalibração será necessária quando o sistema for ampliado com novas instalações a nível da captação, armazenamento, tratamento ou distribuição e sempre que os caudais de ponta se alterem significativamente.

Idealmente, a calibração deveria ser feita anualmente, mesmo na ausência de alterações. A realização de calibração para pequenas alterações será mais fácil e o estudo incidirá na análise de operações, o que permitirá obter recomendações para melhor utilização das instalações. Se for feita anualmente, permite ultrapassar o problema de mudança de operadores, que ocorre frequentemente. As desvantagens da calibração anual são o custo, o tempo e os recursos materiais e humanos. Contudo, a aquisição de conhecimentos sobre o funcionamento do sistema supera as desvantagens apontadas.

O processo de calibração de um modelo deve seguir várias etapas. Em 1997 Ormsbee e Lingireddy enumeraram uma série de passos para a calibração de um modelo:

- i. Identificação dos objectivos do modelo;
- ii. Determinação dos parâmetros iniciais por estimação;
- iii. Recolha de dados;
- iv. Avaliação de resultados;
- v. Macrocalibração;
- vi. Análise da fiabilidade dos resultados;
- vii. Microcalibração.

O primeiro passo consiste na definição dos parâmetros a determinar, tendo em vista os objectivos que se pretendem alcançar e, consequentemente, o tipo de análise a efectuar. Por exemplo, a qualidade da água ou a operação do sistema requerem análise hidráulica em período alargado, enquanto a determinação dos diâmetros em fase de projecto ou a ampliação da rede, apenas requerem análise estática. O tipo de parâmetros a determinar, o tipo de análise hidráulica e o grau de concordância exigido entre os valores simulados e os observados dão indicação dos métodos de recolha de dados de campo.

O segundo passo consiste na estimativa dos dados iniciais para arranque do modelo. Estes dados são estimados com um certo grau de incerteza, nomeadamente, os coeficientes de resistência das tubagens e os consumos atribuídos aos nós.

O terceiro passo consiste na recolha de informação de base para calibração do modelo. As bocas-de-incêndio, os reservatórios e estações de elevação são locais usualmente utilizados na recolha de dados, no entanto, na calibração de um modelo de qualidade pode ser necessário recolher informação em torneiras dos consumidores e em locais próprios de recolha de amostras, se existirem. Os dados devem ser recolhidos durante um período compreendido entre 24 horas e sete dias, sempre que se pretenda calibrar um modelo de análise dinâmica. Os valores do caudal e da pressão em locais estratégicos, bem como os níveis de água nos reservatórios, são registados na operação normal de alguns sistemas. A sua utilização na calibração de um modelo pode ser de grande utilidade, no entanto, deve verificar-se a sua fiabilidade.

A determinação do tempo de percurso tem uma importância relevante no conhecimento de funcionamento do sistema e na sua calibração. Pode ser medido através da utilização de um traçador, como por exemplo, a adição de flúor ou a sua interrupção nos casos em que a adição faça parte do tratamento da água.

O quarto passo consiste na avaliação dos resultados do modelo. Em geral, a máxima diferença entre os valores simulados e os valores medidos no campo depende do objectivo principal do modelo, mas não deve ir além de 5 a 10%. Alguns autores apontam para tolerâncias na ordem de três a sete metros de

coluna de água para as cotas piezométricas nos nós, outros indicam que deve ser o próprio modelo a indicar as tolerâncias admitidas. Alegre (1990) afirma que os consumos, os diâmetros internos, a rugosidade e as constantes de reacção têm em si, inevitavelmente, um erro associado, sendo preferível estipular, para estes dados, as tolerâncias admitidas e simular as condições extremas, obtendo para cada nó o limite mínimo e máximo toleráveis.

As principais causas dos desvios entre os valores simulados e os valores medidos são:

- ❖ Deficiente representação da rede: diâmetros, comprimentos, cotas topográficas, etc.;
- ❖ Geometria da rede incorrecta: ligação entre troços e nós errada;
- ❖ Parâmetros mal estimados como sejam a rugosidade e o causal;
- ❖ Secção das condutas diminuídas por incrustações ou por obstruções desconhecidas;
- ❖ Pressões das fronteiras incorrectas e estimação deficiente dos grandes consumos;
- ❖ Válvulas com características mal atribuídas, níveis de água nos reservatórios e curvas de bombas mal caracterizadas;
- ❖ Equipamentos de medida com defeitos ou erros de leitura em equipamentos;
- ❖ Erros humanos na introdução de dados.

A recolha de informação de base deve ser feita com o máximo cuidado e a representação geométrica, topográfica e hidráulica da rede deve revestir-se da máxima cautela.

No quinto passo faz-se a macrocalibração, ou seja, a correcção de erros superiores às tolerâncias estipuladas. Deve fazer-se a verificação do estado das válvulas que podem encontrar-se total ou parcialmente fechadas ou abertas, das curvas de grupos elevatórios que podem estar mal caracterizadas, dos níveis de reservatórios que podem ter sido mal medidos, da geometria da rede que pode conter incorrecções e das pressões nas fronteiras que podem apresentar desvios. Uma análise atenta da aquisição e introdução dos dados referentes aos itens enumerados permitirá determinar a origem ou origens das discrepâncias.

No sexto passo determina-se a fiabilidade dos resultados. Uma forma de confirmar a validade dos resultados obtidos pode ser conseguida, atribuindo aos parâmetros do modelo valores incrementados de diferentes montantes e analisando os resultados respectivos. Esta análise pode levar a identificação dos parâmetros que têm um impacto mais significativo nos resultados do modelo e pode permitir identificar a origem de alguns erros.

O sétimo e último passo, designado por microcalibração, faz-se um ajuste mais rigoroso dos consumos, dos coeficientes de resistências das tubagens e dos parâmetros de qualidade. A aplicação de ferramentas estatísticas como o método dos mínimos quadrados, testes de hipóteses, grau de correlação entre os valores simulados e medidos, etc. permite efectuar os ajustamentos finais.

Em sistemas muito extensos, a calibração por partes pode ser uma solução e a calibração em sistemas com múltiplos reservatórios pode conseguir-se, recolhendo dados com um dos reservatórios, alternadamente, fora de serviço.

5

DEFINIÇÃO DE CASOS DE ESTUDO

5.1 GENERALIDADES

Para dar início ao projecto de uma forma prática, era necessário encontrar uma situação em que o estudo da adesão dos consumidores fosse relevante, assim, optou-se por procurar uma rede real, situada numa zona do Norte do país, que como já foi referido em 1.1, é a região com menor taxa de adesão por parte dos consumidores a nível nacional e que não se situasse numa zona muito urbanizada, pois é nas zonas rurais, com abundância de espaço e de fontes naturais/poços que as pessoas mais frequentemente dispensam a água proveniente dos serviços públicos de abastecimento.

Convém também frisar que a escolha da rede de distribuição em análise de uma forma mais criteriosa seria mais relevante num estudo aprofundado, mas tratando-se aqui de um exercício académico poderia ter-se optado por uma rede completamente imaginária em que os resultados seriam obviamente diferentes de caso para caso.

5.2 ESCOLHA DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO E SUAS CARACTERÍSTICAS

A escolha da rede de distribuição para estudo recaiu sobre uma parte da rede de abastecimento de água ao concelho de Arcos de Valdevez, nomeadamente da zona que abastece a maioria das freguesias de Senharei, Rio Frio e ainda uma grande parte da freguesia de Aguiã.

De seguida, na Figura 5.2.1 pode visualizar-se uma fotografia aérea da zona com o trajecto da rede de abastecimento marcado, relativamente a Arcos de Valdevez.



Figura 5.2.1- Arcos de Valdevez - Zona Norte

Como se pode facilmente observar na Figura 5.2.2 a rede abrange maioritariamente zonas pouco povoadas apresentando apenas na freguesia da Aguiã uma maior concentração de fogos.

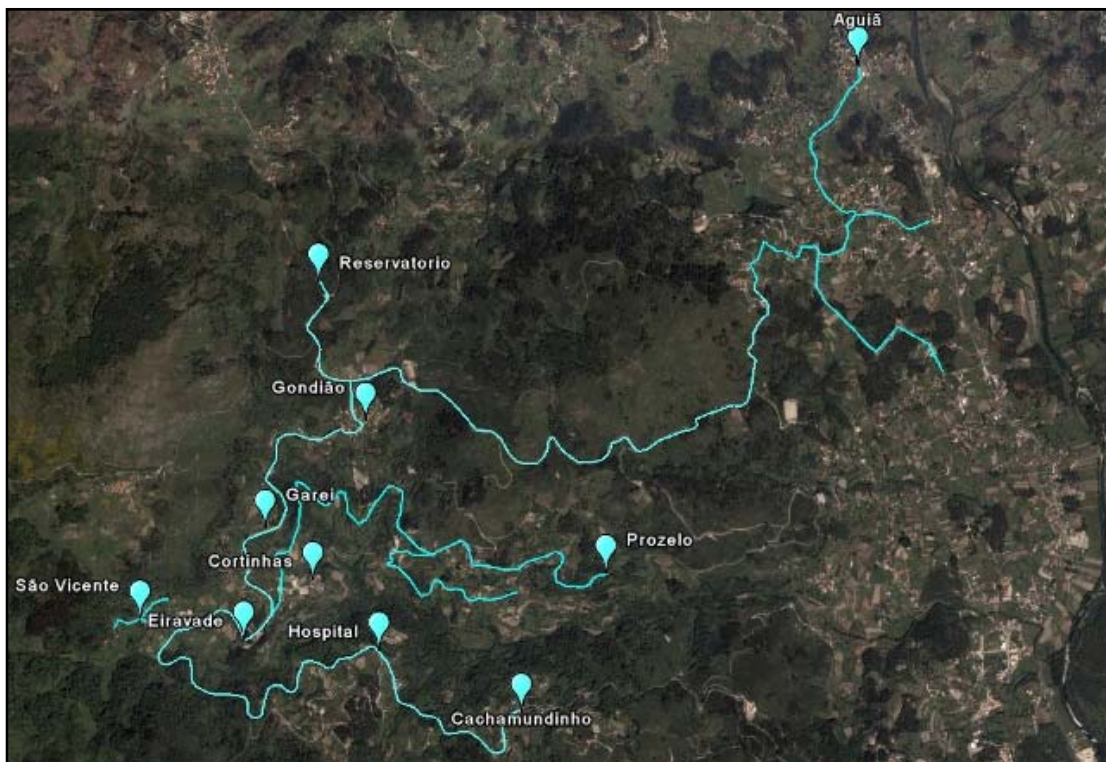


Figura 5.2.2 - Zona Norte do Concelho de Arcos de Valdevez e traçado da rede

Na Figura 5.2.3 apresenta-se um pormenor da freguesia com maior densidade populacional (Aguiã), e logo de seguida na Figura 5.2.4 uma outra zona com uma concentração de fogos bastante reduzida.



Figura 5.2.3 - Freguesia da Aguiã



Figura 5.2.4 - Zona de São Vicente e Eiravade

É perceptível pela análise às fotografias que uma rede para abastecer estas zonas, terá de ser uma rede relativamente extensa e com pequenos diâmetros devido à fraca concentração da população e à inexistência de unidades industriais.

5.2.1 DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA

O projecto da rede em estudo data de 2001, sendo portanto uma rede recentemente concluída.

De acordo com os estudos efectuados esta rede foi dimensionada para abastecer uma população de cerca de 1750 habitantes no ano inicial e de 2500 habitantes no ano Horizonte (ao fim de 40 anos).

Não se pretendeu alterar o dimensionamento da rede nem o seu traçado pois tal seria irrelevante no âmbito deste trabalho. Assim sendo, foram utilizados os diâmetros previamente dimensionados e procurou-se efectuar a modelação e implantação da rede o mais fiel possível aos dados originais.

O abastecimento de água à rede será efectuado por um único reservatório com um volume de 300 m³, situado à cota de 450 m sendo depois o abastecimento realizado por gravidade para a restante rede.

Devido aos grandes desníveis os projectistas fizeram o dimensionamento com recurso à utilização de várias câmaras de perda de carga e de válvulas redutoras de pressão ao longo da rede para que as pressões na tubagem não ultrapassassem os limites regulamentares.

A Figura 5.2.5 é a representação do traçado da rede na forma como foi gentilmente cedida em formato AutoCAD.

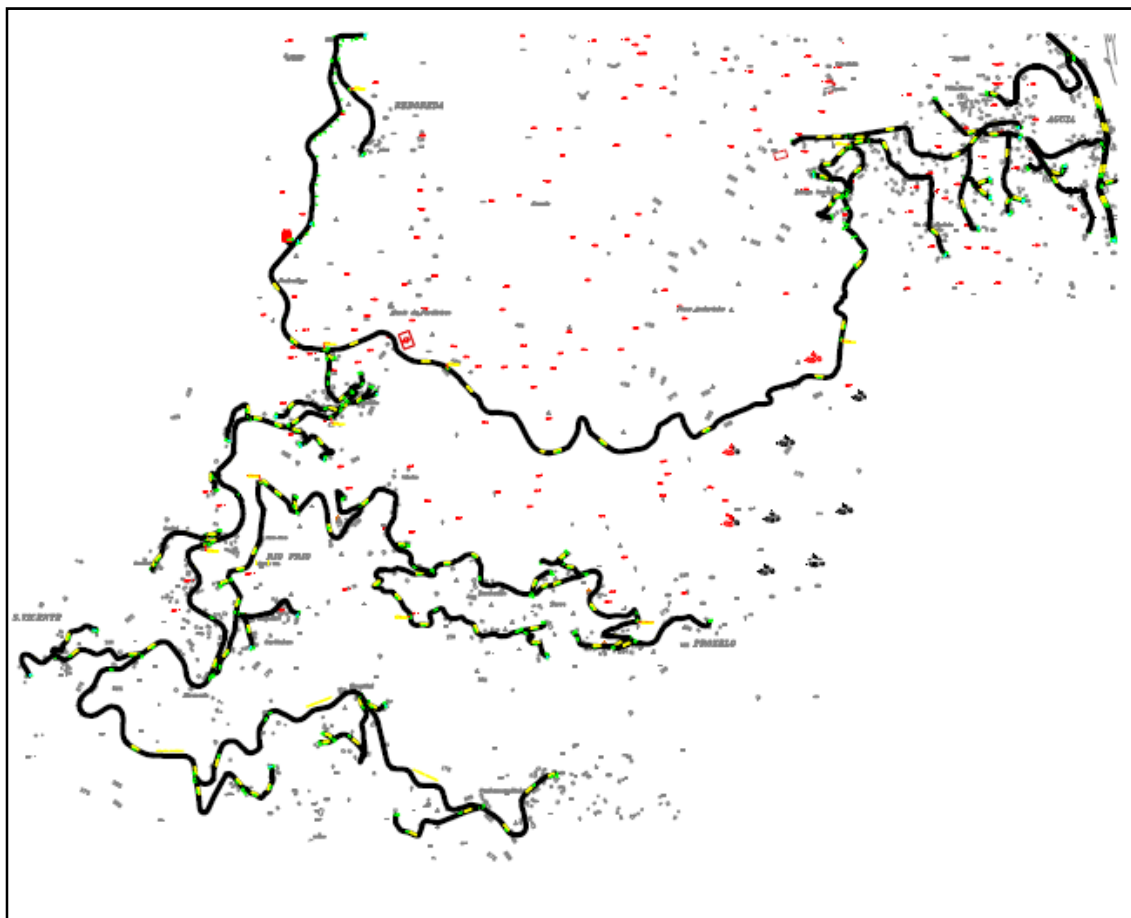


Figura 5.2.5 - Representação esquemática da rede em estudo

Como foi referido anteriormente pode-se constatar que se trata de uma rede bastante extensa para um número de utilizadores reduzido. A densidade populacional não é constante ao longo de toda a rede, podendo-se isolar algumas zonas com uma grande concentração de fogos e outros troços de rede em que praticamente não existe nenhum ponto de consumo/venda.

5.2.2 DADOS FÍSICOS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS CONSUMOS

A rede de abastecimento em análise tem uma extensão de 30.500 metros com diâmetros que variam entre DN63 e DN125, sendo o material das condutas o PEAD PN10.

Como forma de facilitar a simulação considerou-se a existência de caudal distribuído de percurso em quase toda a rede exceptuando três troços que têm um comprimento combinado de 6.300 metros em que não existe qualquer ponto de consumo.

O próximo passo foi a recolha de todos os dados relativos à rede, nomeadamente diâmetro e comprimento de cada troço, assim como as cotas de cada nó e colocar essa informação no EPANET.

Ao analisarem-se as fotografias aéreas verificou-se que a concentração da população é variável ao longo da rede, tendo-se definido assim três zonas com caudais de percurso diferentes, mas com o cuidado de que o total do consumo das zonas estivesse de acordo com o consumo médio diário considerado.

Assim, tem-se as seguintes zonas:

- A - em que o caudal de percurso é metade do caudal de percurso médio – $0,5Q_0$
 B - em que o caudal de percurso é igual ao caudal de percurso médio – Q_0
 C - em que o caudal de percurso é igual ao dobro do caudal de percurso médio – $2Q_0$

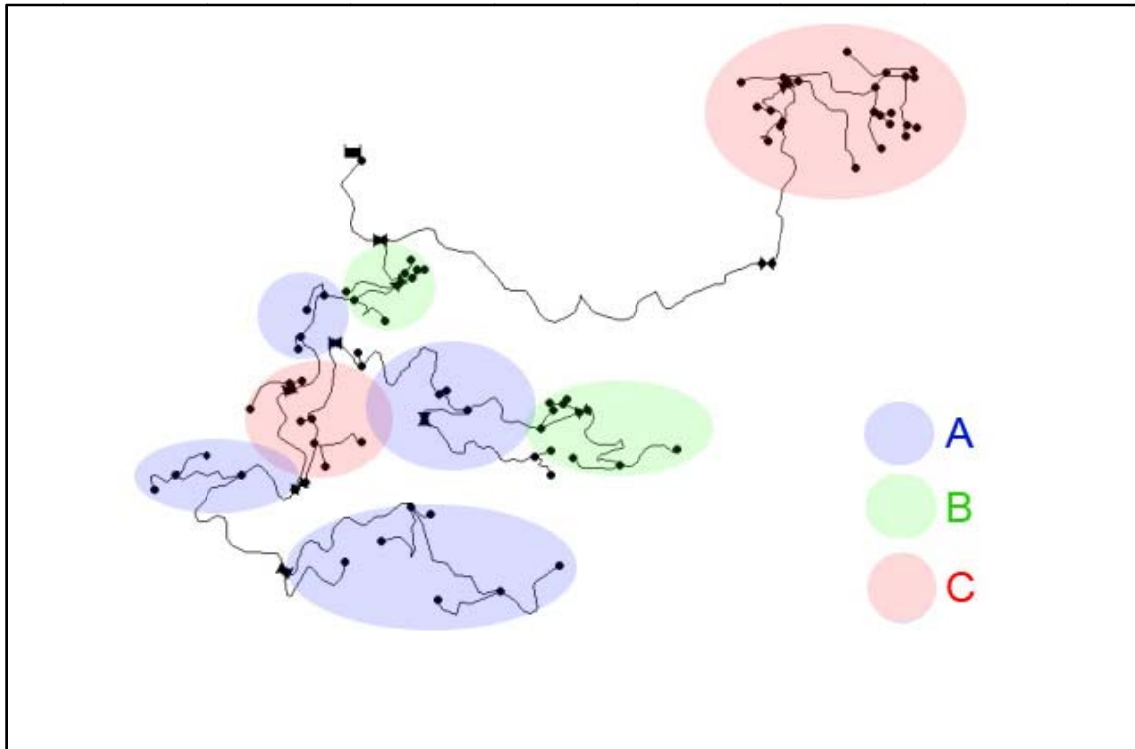


Figura 5.2.6 - Rede de distribuição no programa EPANET e zonas de consumo.

De notar que a representação aqui apresentada não é tão rigorosa como a divisão que foi efectivamente utilizada na simulação, sendo apenas uma forma indicativa de se localizar as zonas da rede de distribuição com maior concentração de população.

5.2.3 PADRÃO DE CONSUMO

Numa modelação hidráulica e de qualidade, o padrão de consumo adoptado é um parâmetro muito importante como já foi referido em 2.2.6. no nosso caso, e na impossibilidade de se obter o padrão de consumo realmente efectuado no sistema, optou-se por recorrer a um padrão de consumo de uma zona semelhante, nomeadamente a zona de Lodeiro, no concelho do Marco de Canavezes. Na Figura 5.2.7 pode visualizar-se a localização de Lodeiro e um pormenor de parte da freguesia que como se pode verificar não é muito diferente da topologia da que constitui a rede em estudo.

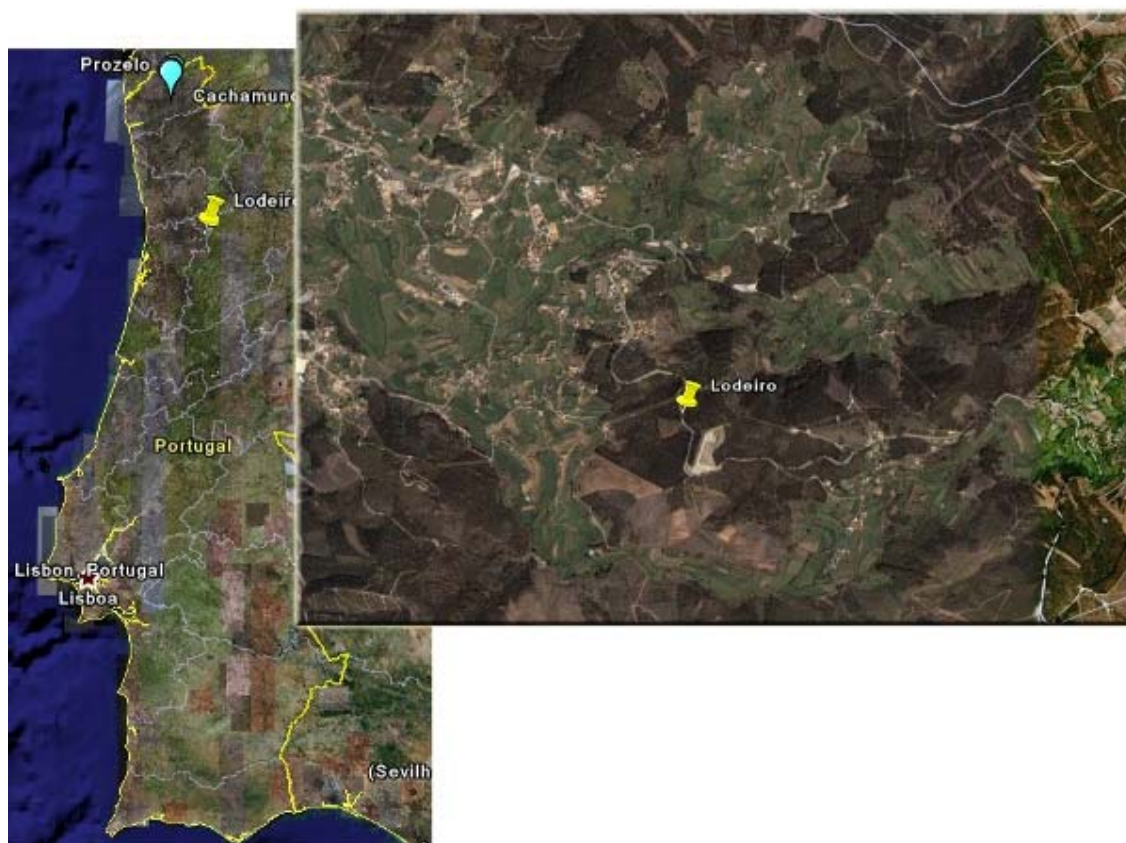


Figura 5.2.7 - Localização da Freguesia de Lodeiro no Marco de Canavezes e vista aérea de parte da Freguesia

O padrão de consumo foi gentilmente cedido por Águas de Barcelos, SA. e pode ser visualizado na Figura 5.2.8.

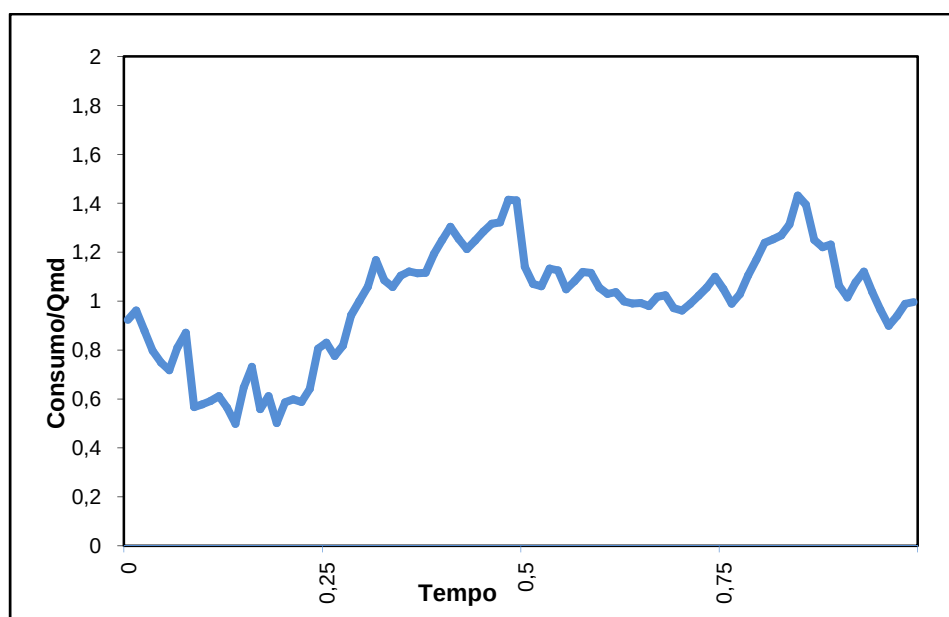


Figura 5.2.8 - Padrão adimensional de consumo - Freguesia de Lodeiro

Este foi o padrão de consumo considerado para o presente estudo, porém, em alguns casos não pareceu o mais adequado à realidade, já que em certos nós em que exista apenas uma pequena quantidade de fogos, os consumos certamente não se distribuirão desta forma ao longo do dia.

Admitiu-se então que no caso de nós com consumos muito baixos, o que indicia a existência de poucas habitações nas proximidades, o padrão de consumo teria de ter uma distribuição diferente, aumentando o factor de ponta e diminuindo o consumo ao longo do resto do dia.

Optou-se então por atribuir a esses nós o padrão de consumo utilizado correntemente para populações com cerca de 2.500 habitantes, com um factor de ponta de 4, como se pode ver na Figura 5.2.9.

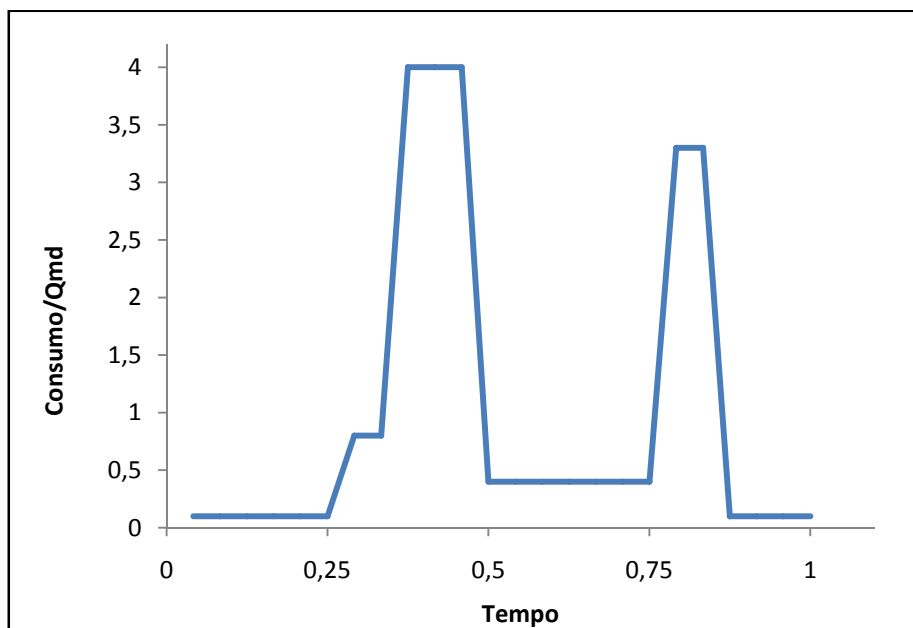


Figura 5.2.9 - Padrão de Consumo adimensional - Factor de Ponta 4

A utilização deste padrão de consumo está mais de acordo com uma utilização doméstica habitual, onde há varias horas do dia em que não há presença na habitação e logo não há consumo, e com períodos de ponta elevados quando há utilização de água da rede, como para tomar banho ou lavar loiça.

6

FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES E CENÁRIOS

6.1 GENERALIDADES

Sendo o presente projecto um exercício académico meramente especulativo, com base num projecto de uma rede real, mas, do qual não se sabem valores ou resultados quanto à sua exploração, a formulação de cenários que possam de alguma forma representar o que realmente sucede é difícil. Tentou-se ainda assim formular várias hipóteses que cobrissem algumas hipóteses de funcionamento.

O que será que acontece quando a adesão é total logo no início de funcionamento da rede? Como será a degradação do cloro ao longo da rede se a adesão for baixa?

Considere-se um arruamento com 10 habitações, e se só 2 duas aderirem ao sistema de abastecimento de água? E se o mesmo acontecer ao longo de toda a rede?

Os cenários possíveis são infundáveis e não se pode considerar nenhum mais correcto que o outro, mesmo analisando o que aconteceu noutros locais em situações similares, nada garante que se processe de forma semelhante.

Optou-se assim por realizar o estudo da rede referida para três cenários de adesão distintos, e ainda, extrapolar para esses mesmos cenários e para a mesma rede (alterando os diâmetros sempre que necessário), o número de habitantes potencialmente servidos de forma a ter uma maior sensibilidade para que valores de população uma certa percentagem de adesão é problemática ou satisfatória.

6.2 ADESÃO À REDE AO LONGO DO TEMPO

Foram considerados três hipóteses de adesão diferentes, para simular a adesão da população à rede de abastecimento:

6.2.1 HIPÓTESE 1

A primeira hipótese, a mais optimista do ponto de vista do gestão da rede, considera uma adesão de 100% logo no primeiro ano e mantendo-se sempre nesse valor até ao ano horizonte.

Esta hipótese além de optimista, é certamente irrealista, mas tem como vantagem permitir comparar com as restantes hipóteses e também mostrar perante essa comparação a realidade que existe quando os valores de dimensionamento que por vezes se admitem em projecto não são atingidos.

Quadro 6.2.1 - Evolução da Adesão da População - Hipótese 1

Ano	Adesão	Ano	Adesão
1	100%	21	100%
2	100%	22	100%
3	100%	23	100%
4	100%	24	100%
5	100%	25	100%
6	100%	26	100%
7	100%	27	100%
8	100%	28	100%
9	100%	29	100%
10	100%	30	100%
11	100%	31	100%
12	100%	32	100%
13	100%	33	100%
14	100%	34	100%
15	100%	35	100%
16	100%	36	100%
17	100%	37	100%
18	100%	38	100%
19	100%	39	100%
20	100%	40	100%

6.2.2 HIPÓTESE 2

A Hipótese 2 é uma hipótese mais realista que a Hipótese 1. Quando se constrói uma rede de abastecimento numa zona já edificada, a adesão vai aumentando gradualmente ao longo do tempo, assim sendo, nesta hipótese considerou-se que existe uma adesão de 20% no primeiro ano, e que esta aumenta gradualmente até atingir os 100%.

No Quadro 6.2.2 pode analisar-se a evolução da adesão ao longo dos anos.

Quadro 6.2.2 - Evolução da Adesão da População - Hipótese 2

Ano	Adesão	Ano	Adesão
1	20%	21	90%
2	25%	22	90%
3	30%	23	95%
4	35%	24	95%
5	40%	25	98%
6	45%	26	98%
7	50%	27	99%
8	55%	28	99%
9	60%	29	99%
10	60%	30	99%
11	65%	31	99%
12	65%	32	99%
13	70%	33	99%
14	70%	34	99%
15	75%	35	99%
16	75%	36	99%
17	80%	37	99%
18	80%	38	99%
19	85%	39	99%
20	85%	40	100%

6.2.3 HIPÓTESE 3

A 3ª e última hipótese equacionada é a mais pessimista das três, e talvez, a mais realista. Como foi referido em 1.1, a adesão na zona Norte do país não atinge em média os 80% (Comissão Especializada de Legislação e Economia da APDA, 2006). Logo, se há muitas zonas com adesão perto dos 100%, outras haverá com adesão ainda abaixo dos 80%, verificando-se estes casos em zonas algo rurais no Minho e Douro Litoral, que é o caso da rede em estudo.

Assim, nesta 3ª Hipótese a adesão começa com 15% e aumenta gradual e lentamente até atingir cerca de 80% de adesão no ano horizonte. O Quadro 6.2.3 fornece a evolução da adesão.

Quadro 6.2.3 - Evolução da Adesão da População - Hipótese 3

Ano	Adesão	Ano	Adesão
1	15%	21	69%
2	17%	22	71%
3	20%	23	74%
4	23%	24	75%
5	25%	25	75%
6	28%	26	76%
7	30%	27	76%
8	32%	28	76%
9	37%	29	77%
10	41%	30	77%
11	45%	31	77%
12	48%	32	78%
13	50%	33	78%
14	53%	34	78%
15	55%	35	79%
16	57%	36	79%
17	59%	37	79%
18	62%	38	80%
19	65%	39	80%
20	67%	40	81%

Pode parecer irrealista assumir que dentro de 40 anos ainda haverá populações que não queiram aderir à rede de abastecimento, com toda a evolução de conhecimento que tem havido no que diz respeito ao perigo que é o consumo de água não tratada, mas certamente há 40 anos atrás não se pensaria que hoje ainda existiriam casas sem abastecimento de água, seja por opção ou por falta de cobertura.

Se se tiver em conta, que o dimensionamento foi realizado considerando uma taxa de crescimento da população, que possivelmente não se virá a verificar em casos de populações rurais, é então perfeitamente exequível que a diminuição da população contrabalance o facto de não se considerar uma adesão de 100% no ano horizonte, nesta hipótese.

Na Figura 6.2.1 pode ver-se a diferente evolução da adesão dos consumidores, à rede de abastecimento, nas três hipóteses consideradas.

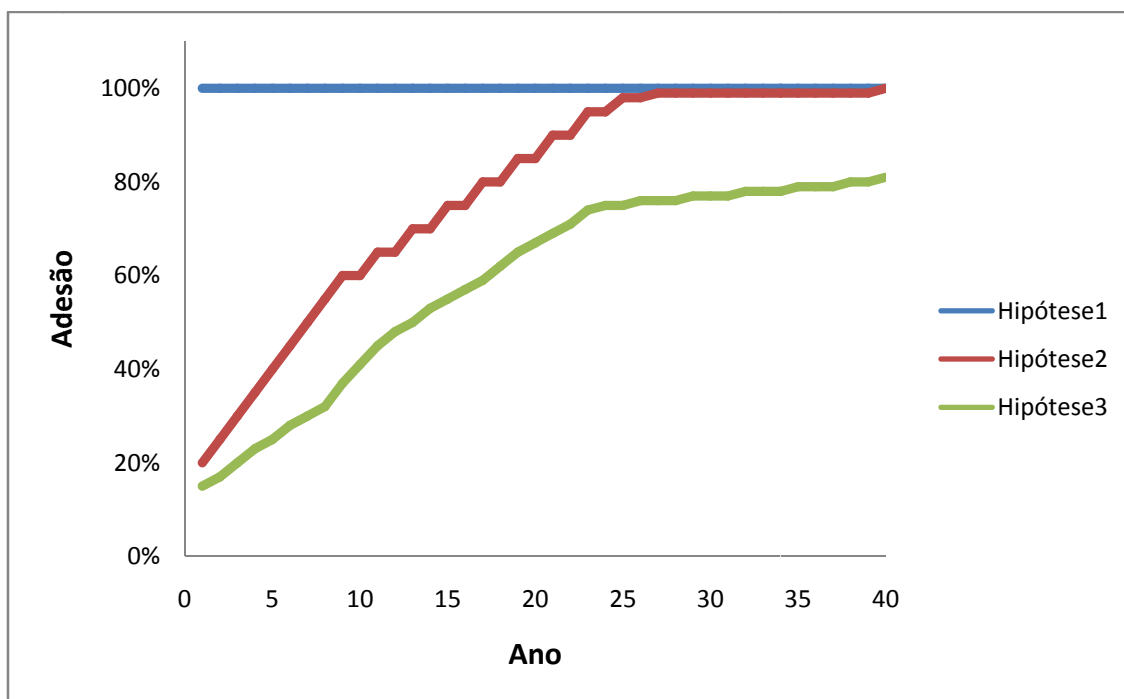


Figura 6.2.1 - Evolução das três hipóteses de adesão ao longo do tempo

6.3 CENÁRIOS ESTUDADOS

Depois de estarem definidas as três hipóteses de adesão por parte dos consumidores colocou-se então a questão dos cenários que melhor permitiram tirar conclusões deste estudo.

Inicialmente consideraram-se dois cenários, um que seria o caso real em estudo, com uma população no ano horizonte de 2.500 habitantes, e um outro, puramente especulativo utilizando o mesmo traçado de rede mas com uma população no ano horizonte, 10 vezes superior, ou seja, de 25.000 habitantes.

Desta forma pode comparar-se as diferenças que a adesão, ou falta dela, representa numa rede com diferentes economias de escala.

Porém, e visto a diferença entre estes dois cenários ser tão grande, optou-se por incluir mais alguns cenários intermédios para que se pudesse verificar a partir de que nível de população o factor da adesão deixa de ser “limitativo” ao investimento e funcionamento da rede.

Assim, os cenários estudados podem ser vistos no Quadro 6.3.1

Quadro 6.3.1 - Cenários estudados

	População ano Horizonte	Hipótese de Adesão1	Hipótese de Adesão2	Hipótese de Adesão3
Cenário 1	2.500	✓		
Cenário 2	2.500		✓	
Cenário 3	2.500			✓
Cenário 4	5.000	✓		
Cenário 5	5.000		✓	
Cenário 6	5.000			✓
Cenário 7	7.500	✓		
Cenário 8	7.500		✓	
Cenário 9	7.500			✓
Cenário 10	10.000	✓		
Cenário 11	10.000		✓	
Cenário 12	10.000			✓
Cenário 13	25.000	✓		
Cenário 14	25.000		✓	
Cenário 15	25.000			✓

Foram criados estes 15 cenários, e cada um deles, foi dividido em 9 subcenários, em que se analisa como cada cenário principal evolui ao longo do tempo.

Assim, o Cenário 1 divide-se em vários subcenários em que se simula a rede de abastecimento em estudo para vários anos, desde o ano de origem, até ao ano horizonte, como se pode ver no Quadro 6.3.2.

Quadro 6.3.2 - Subdivisão do Cenário 1

Cenário 1.1	1.745 Habitantes	Ano 1	100% Adesão
Cenário 1.2	1.842 Habitantes	Ano 5	100% Adesão
Cenário 1.3	1.954 Habitantes	Ano 10	100% Adesão
Cenário 1.4	2.056 Habitantes	Ano 15	100% Adesão
Cenário 1.5	2.151 Habitantes	Ano 20	100% Adesão
Cenário 1.6	2.239 Habitantes	Ano 25	100% Adesão
Cenário 1.7	2.320 Habitantes	Ano 30	100% Adesão
Cenário 1.8	2.396 Habitantes	Ano 35	100% Adesão
Cenário 1.9	2.500 Habitantes	Ano 40	100% Adesão

Convém também referir que apesar de neste cenário a adesão ser constante, os consumos aumentam ao longo do tempo, quer devido ao aumento da capitação, quer devido ao aumento da população definidos pelos projectistas da rede.

No caso do Cenário 2 a subdivisão processa-se de forma semelhante, mas neste caso a adesão também varia ao longo do tempo como se viu no Quadro 6.2.2. Assim, o Cenário 2 divide-se em 9 subcenários que podem ser vistos no Quadro 6.3.3.

Quadro 6.3.3 - Subdivisão do Cenário 2

Cenário 2.1	1.745 Habitantes	Ano 1	20% Adesão
Cenário 2.2	1.842 Habitantes	Ano 5	40% Adesão
Cenário 2.3	1.954 Habitantes	Ano 10	60% Adesão
Cenário 2.4	2.056 Habitantes	Ano 15	75% Adesão
Cenário 2.5	2.151 Habitantes	Ano 20	85% Adesão
Cenário 2.6	2.239 Habitantes	Ano 25	98% Adesão
Cenário 2.7	2.320 Habitantes	Ano 30	99% Adesão
Cenário 2.8	2.396 Habitantes	Ano 35	99% Adesão
Cenário 2.9	2.500 Habitantes	Ano 40	100% Adesão

E analogamente para o Cenário 3 (Quadro 6.3.4).

Quadro 6.3.4 - Subdivisão do Cenário 3

Cenário 3.1	1.745 Habitantes	Ano 1	15% Adesão
Cenário 3.2	1.842 Habitantes	Ano 5	25% Adesão
Cenário 3.3	1.954 Habitantes	Ano 10	41% Adesão
Cenário 3.4	2.056 Habitantes	Ano 15	55% Adesão
Cenário 3.5	2.151 Habitantes	Ano 20	67% Adesão
Cenário 3.6	2.239 Habitantes	Ano 25	75% Adesão
Cenário 3.7	2.320 Habitantes	Ano 30	77% Adesão
Cenário 3.8	2.396 Habitantes	Ano 35	79% Adesão
Cenário 3.9	2.500 Habitantes	Ano 40	81% Adesão

Os restantes cenários dividem-se numa forma em tudo semelhante (variando o número de habitantes servidos), e como tal, não vale a pena continuar aqui a especificação deles, podendo ser vistos em anexo.

7

SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS E RESULTADOS

7.1 GENERALIDADES

Como foi descrito em 6.3 foram criados 15 cenários divididos em 9 subcenários cada um, tendo sido criado um ficheiro no programa EPANET (4.2) para simular cada um desses subcenários, o que corresponde a cerca de 120 ficheiros diferentes com resultados distintos para cada um deles.

Sendo, talvez, de pouco interesse referir os resultados de todos os cenários e subcenários extensivamente, optou-se apenas por referir os dados de maior relevância obtidos na simulação, respeitante quer ao funcionamento hidráulico do sistema quer ao modelo de qualidade.

7.2 CENÁRIO 1 – 2.500 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO

Como foi referido em 6.3, no Quadro 6.3.1 e no Quadro 6.3.2 o Cenário 1 caracteriza-se por ter uma adesão de 100% logo no primeiro ano, mantendo-se este valor de adesão constante ao longo do tempo até ao ano horizonte. A população no ano horizonte está estimada em 2.500 habitantes, sendo este, o valor estimado pela equipa projectista da rede de distribuição.

Devido ao grande desnível do terreno, que se pode ver na Figura 7.2.1, foram consideradas no projecto a instalação de cerca de 10 dispositivos de redução de pressão, entre válvulas redutoras de pressão e câmaras de perda de carga, para que a pressão na tubagem não ultrapassasse os valores máximos regulamentares em redes de distribuição.

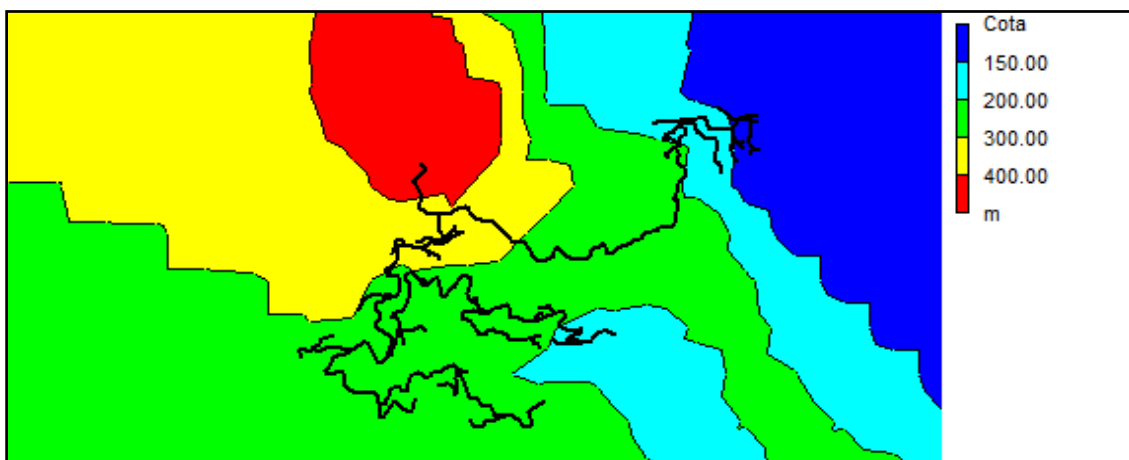


Figura 7.2.1 - Isolinhas de altimetria da rede de distribuição em estudo

Ao executar-se a simulação deste cenário, o EPANET não encontra nenhum erro, podendo-se então analisar os eventuais problemas que ocorram.

Começou-se por efectuar a simulação dinâmica do primeiro subcenário (Quadro 6.3.2 - Subdivisão do Cenário 1), que é o correspondente ao primeiro ano de funcionamento da rede.

Analisaram-se então os resultados obtidos para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.2.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Os principais parâmetros analisados em relação às características hidráulicas do escoamento foram a velocidade e a pressão na rede.

Quanto ao parâmetro velocidade, como se pode ver na Figura 7.2.2, que representa a velocidade em todos os troços na hora de maior consumo, a quase totalidade dos troços tem velocidade inferior a 0,30 m/s, situação particularmente mais grave para os troços que se encontram nos limites da rede, que sendo zonas com poucas habitações e com consumos baixos não conseguem satisfazer a velocidade mínima nem no horário de maior consumo.

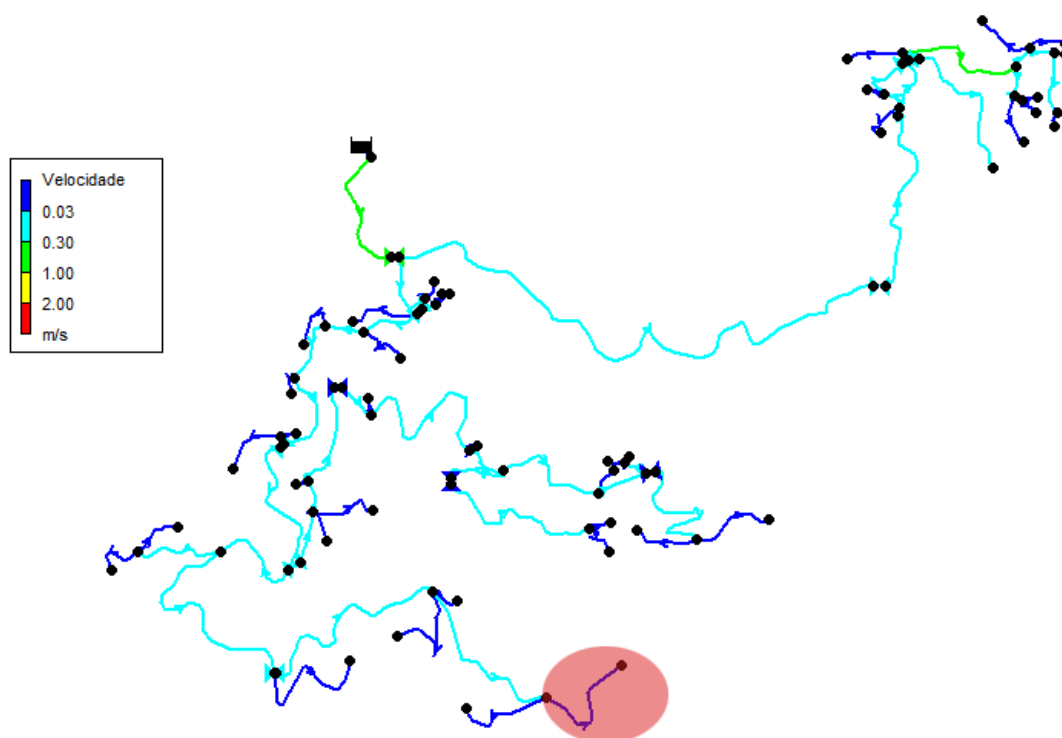


Figura 7.2.2 - Velocidade na rede na hora de maior consumo

Analisando em pormenor a velocidade no troço 44 (assinalado a vermelho na Figura 7.2.2), esta oscila entre 0,00 e 0,02 m/s nunca atingindo assim os 0,30 m/s mínimos regulamentares, como se pode ver na Figura 7.2.3, o mesmo sucedendo para muitos outros troços.

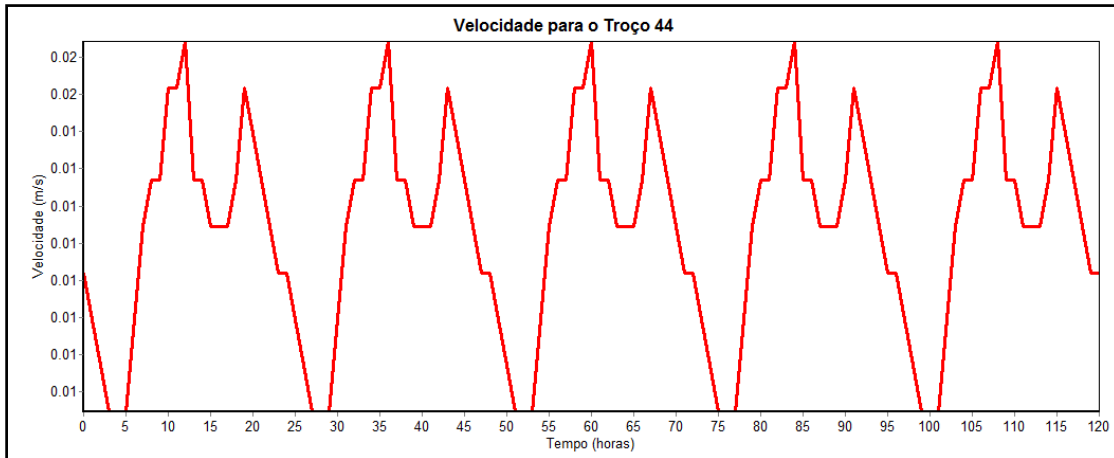


Figura 7.2.3 - Velocidade no troço 44 – ano 1

A solução imediata para este problema seria a diminuição do diâmetro da conduta, mas todos os troços situados nos extremos da rede estão já dimensionados com o valor mínimo regulamentar de DN63, não podendo assim reduzir-se o diâmetro.

De acordo com o Decreto Regulamentar 23/95 é necessário então prever para todas as condutas em que a velocidade mínima não seja respeitada, dispositivos adequados para descarga periódica.

Quanto à pressão na rede da água na rede, fazendo a simulação para o primeiro ano, pode-se ver na Figura 7.2.4 que não há nós com pressão inferior a 14 m.c.a. tirando os pontos imediatamente a jusante às câmaras de perda de carga.

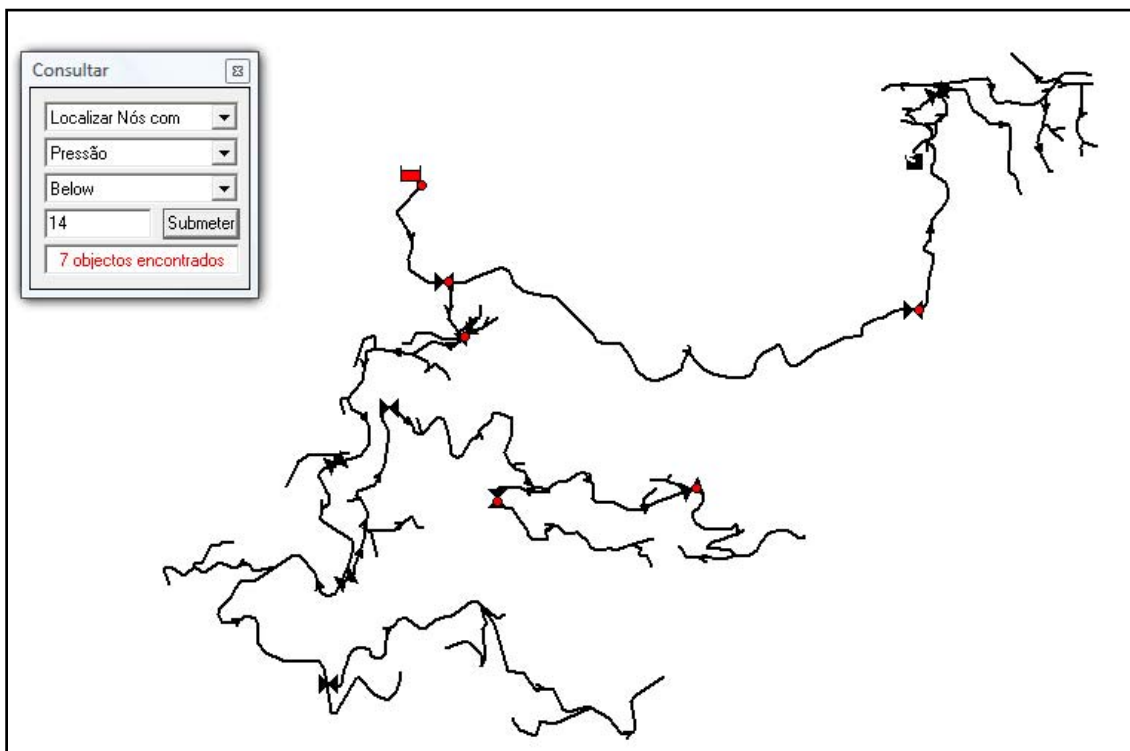


Figura 7.2.4 - Pressão mínima nos nós da rede - ano 1

Quanto à pressão máxima, na Figura 7.2.5 pode-se visualizar que existem alguns casos pontuais em que a pressão excede os 60 m.c.a, mas sendo a maioria deles imediatamente a montante de câmaras de

perda de carga ou de válvulas redutoras de pressão, com excepção de uma zona na freguesia mais a norte, onde será necessário prever a instalação de um novo dispositivo redutor de pressão.

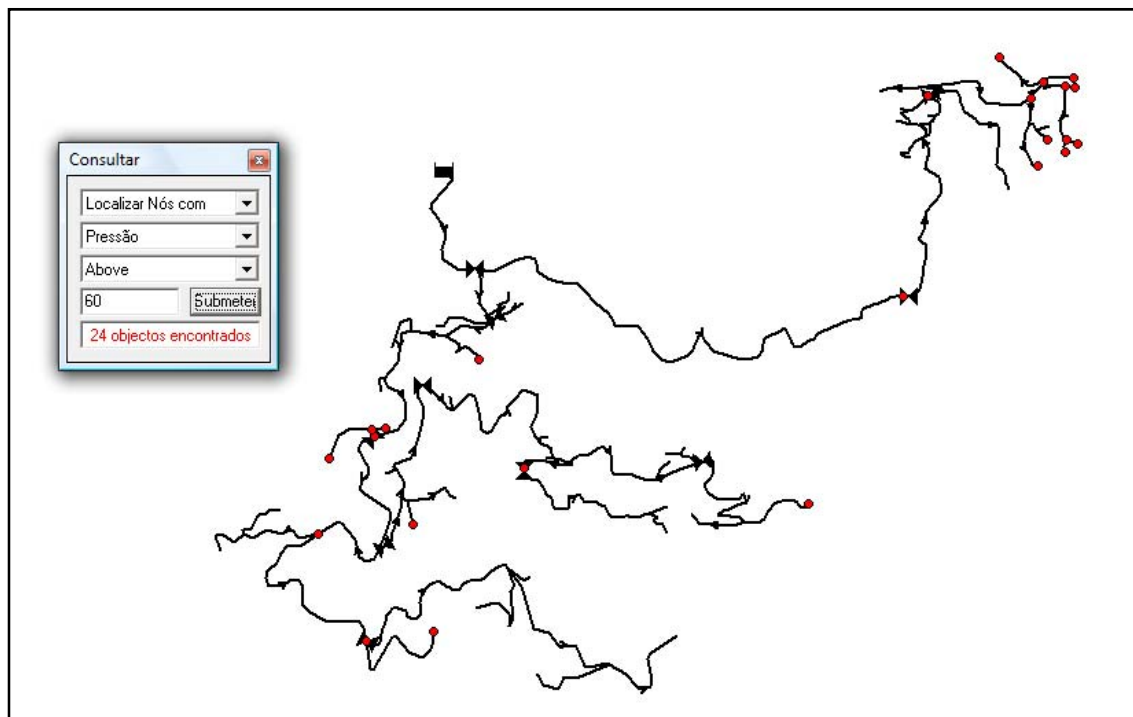


Figura 7.2.5 - Pressão máxima nos nós da rede - ano 1

Por fim vale a pena referir que não se encontram grandes flutuações de pressão em nenhum dos nós, mostrando-se apenas a título de exemplo a variação de pressão, no nó 73, localizado no extremo da tubagem 44 analisada na Figura 7.2.2.

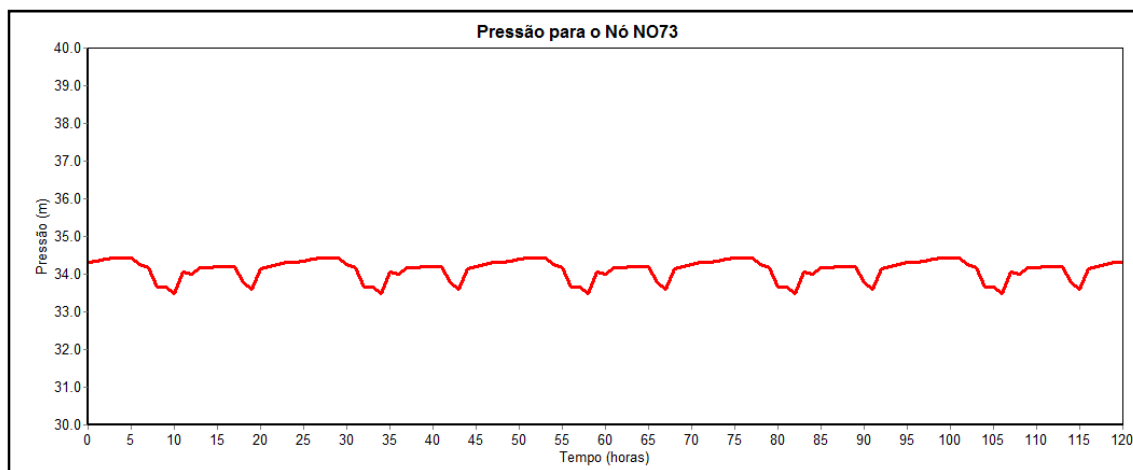


Figura 7.2.6 - Variação da pressão no nó 73

O decorrer dos anos não altera significativamente os valores das pressões de forma que, no ano horizonte, os valores tanto de pressões máximas e mínimas permanecem similares aos que aqui foram apresentados.

7.2.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

As baixas velocidades verificadas em grande parte da rede (Figura 7.2.2) contribuem para que o cloro residual existente na água à saída do reservatório não chegue em concentração suficiente aos extremos da rede como se pode ver na Figura 7.2.7.

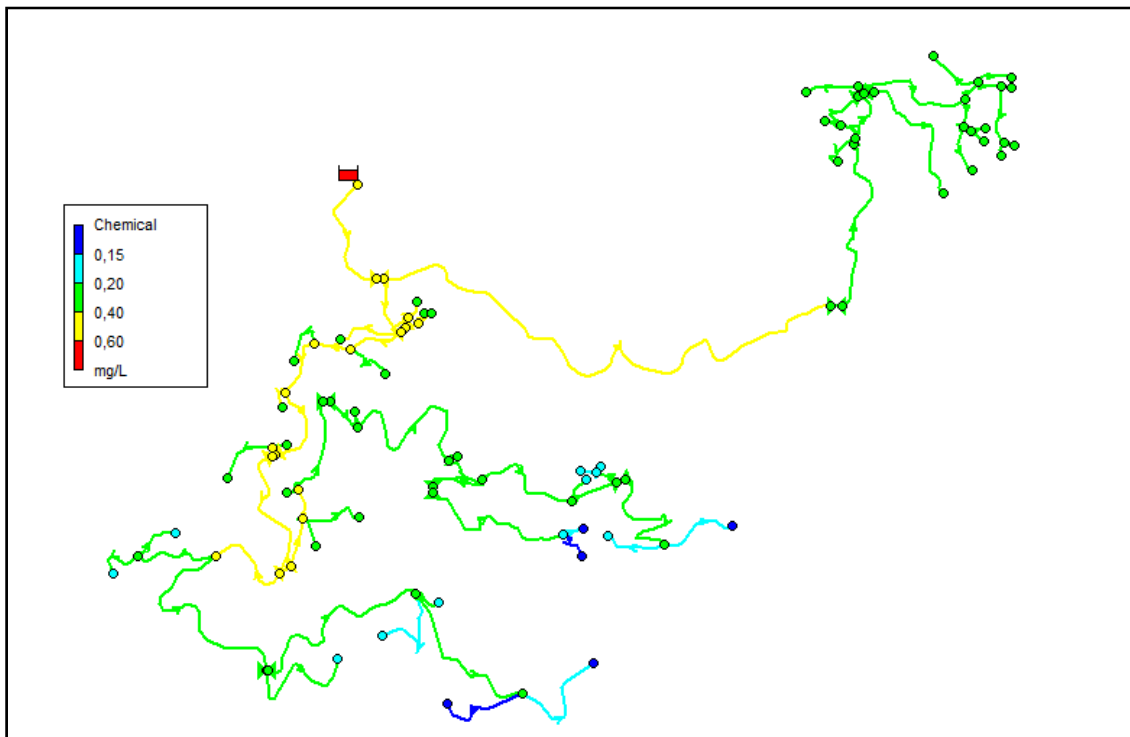


Figura 7.2.7 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 100%

Em 4.3.3, considerou-se que a concentração mínima aceitável de cloro residual ao longo da rede seria de 0,20 mg/l, nunca descendo dos 0,15 mg/l. Assim os troços e nós marcados na Figura 7.2.7 a azul necessitariam de instalação de estações de recloração ao longo da rede para que aqueles troços extremos estejam assim protegidos quanto a potenciais contaminações de microrganismos e ao mesmo tempo inibir o crescimento do biofilme. Em detalhe pode visualizar-se na figura seguinte a variação do cloro residual também no nó 73.

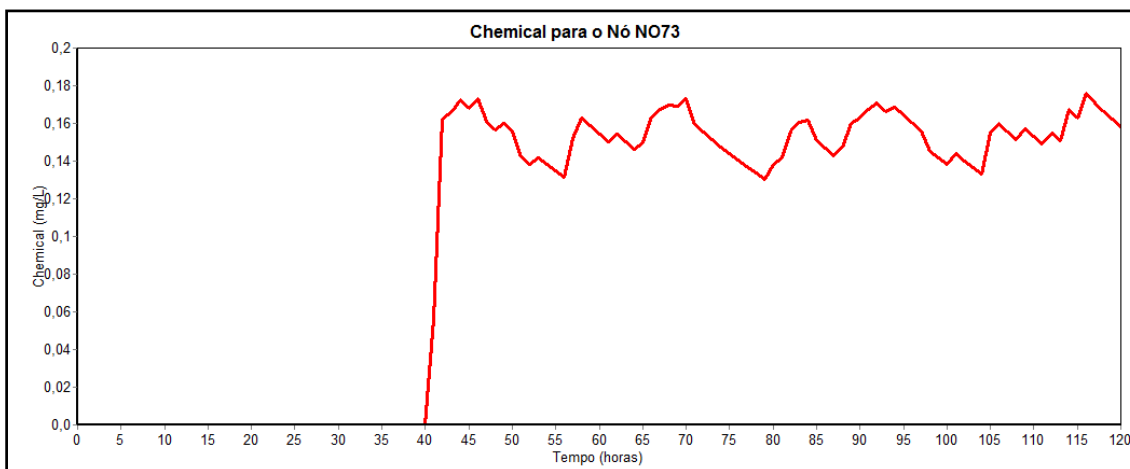


Figura 7.2.8 - Variação da concentração do cloro residual no nó 73 - ano 1

Como se pode ver a concentração de cloro residual ao longo da simulação esta sempre abaixo dos 0,20 mg/l e descendo inclusive dos 0,15 mg/l. De notar que nas primeiras 40 horas a concentração de cloro é 0,00 mg/l já que é o tempo que a água clorada que começa a sair do reservatório de origem demora a chegar ao nó 73, formando-se então um padrão repetitivo ao longo das restantes horas/dias de simulação.

Só ao fim de 25 dias é que a concentração de cloro na água está acima dos limites mínimos considerados como se pode ver na figura.

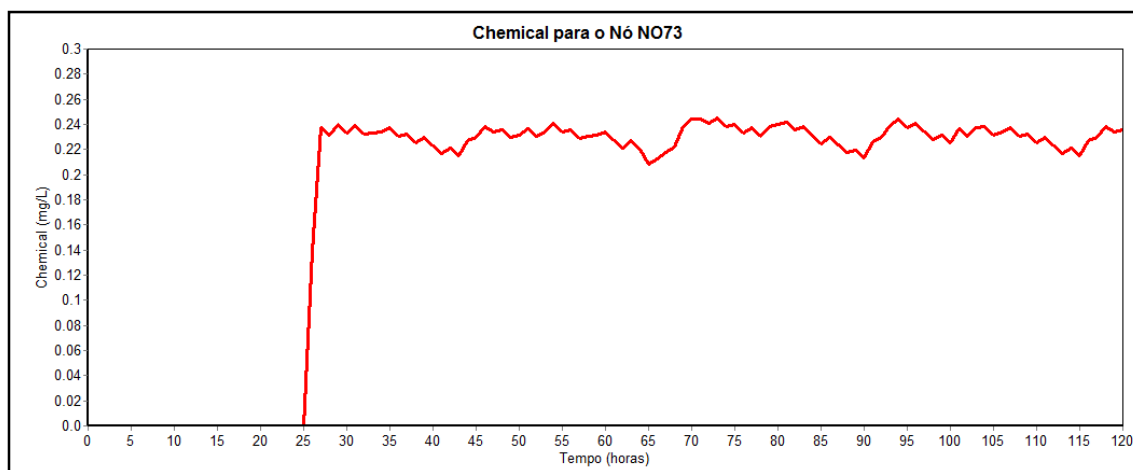


Figura 7.2.9 - Variação da concentração do cloro residual no nó 73 - ano 25

Devido aos maiores consumos, que se traduzem em maiores velocidades da água na rede, comparando a Figura 7.2.8 e a Figura 7.2.9, observa-se que na figura referente ao ano 25 de exploração o cloro residual chega ao nó a partir das 25 horas do início de simulação, cerca de 15 horas antes do que no ano de origem, o que significa que a água tem um menor tempo de percurso e logo há menor decaimento de cloro residual, daí a maior concentração ao chegar ao nó 73, no ano 25.

Contudo, como se pôde observar na Figura 7.2.7, o cloro residual em alguns extremos da rede no início da exploração é considerado insuficiente como barreira para protecção de potenciais contaminações de bactérias sendo, portanto, necessária a instalação de estações de recloração adicionais ao longo da rede para que a concentração de cloro residual aumente até aos valores pretendidos.

Na Figura 7.2.10 pode-se visualizar a localização das duas estações de recloração (marcadas a vermelho) que caso fossem instaladas, resultaria na melhoria da concentração de cloro residual ao longo da rede.

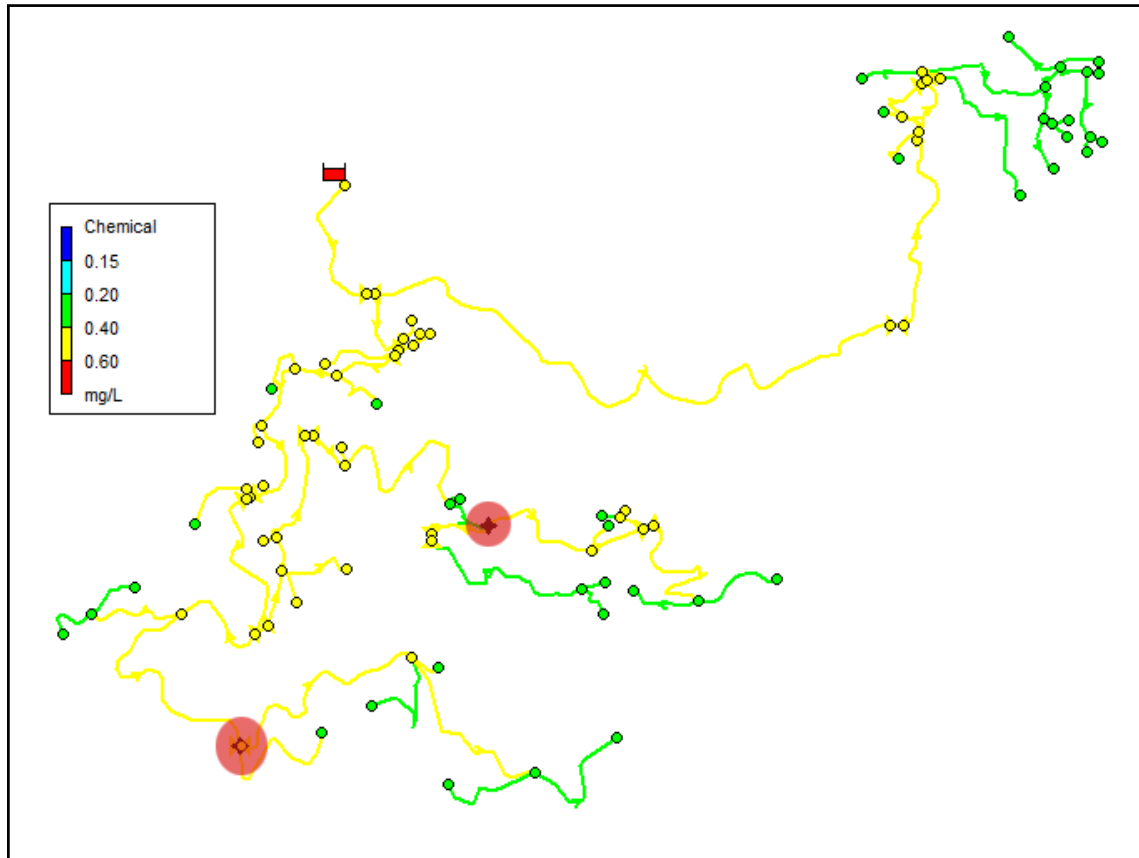


Figura 7.2.10 – Variação da concentração de cloro residual nos troços e nós da rede - estações de rechloragem - ano 1 – adesão 100%

Como se pode observar quando comparado com a Figura 7.2.7, a concentração de residual de cloro na rede melhora consideravelmente, principalmente nos troços a jusante das estações de rechloragem. Na Figura 7.2.11 pode, mais uma vez, visualizar-se a concentração de cloro no nó 73 com a existência das duas estações de rechloragem, no primeiro ano de exploração.

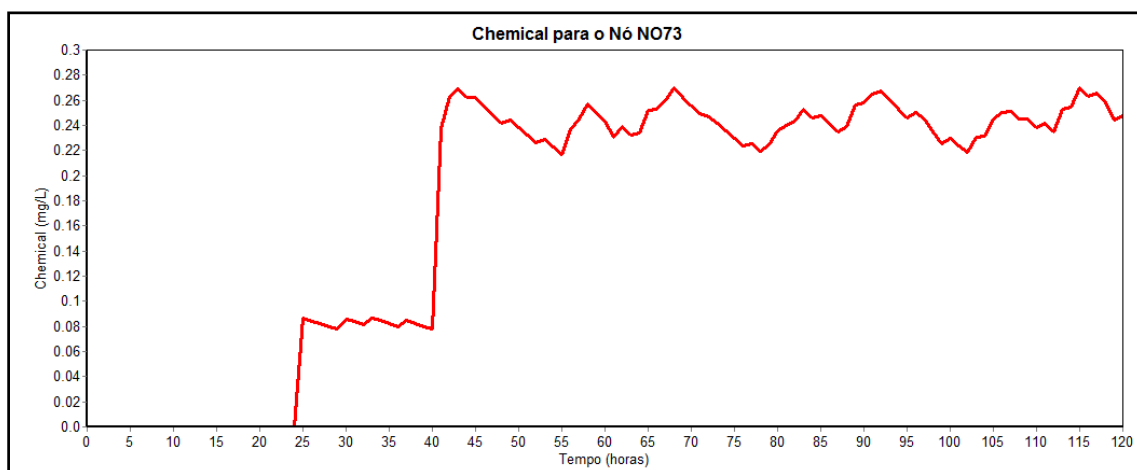


Figura 7.2.11 – variação da concentração de cloro residual no nó 73 com estações de rechloragem - ano1

São claras as diferenças entre os dois casos (Figura 7.2.8 e Figura 7.2.11), podendo concluir-se que, para assegurar a qualidade da água neste cenário, é necessária a instalação de duas estações de

recloragem que funcionem pelo menos durante os primeiros 25 anos de exploração, deixando de ser necessárias caso se verifiquem as previsões de aumento de população e consumos previstas pelos projectistas da rede.

No Quadro 7.2.1 pode ver-se em resumo a evolução do número de estações de recloragem no Cenário 1

Quadro 7.2.1 - Evolução do número de estações de recloragem ao longo do Cenário 1

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloragem
Cenário 1.1	1.745 Habitantes	Ano 1	100% Adesão	2
Cenário 1.2	1.842 Habitantes	Ano 5	100% Adesão	2
Cenário 1.3	1.954 Habitantes	Ano 10	100% Adesão	2
Cenário 1.4	2.056 Habitantes	Ano 15	100% Adesão	2
Cenário 1.5	2.151 Habitantes	Ano 20	100% Adesão	2
Cenário 1.6	2.239 Habitantes	Ano 25	100% Adesão	0
Cenário 1.7	2.320 Habitantes	Ano 30	100% Adesão	0
Cenário 1.8	2.396 Habitantes	Ano 35	100% Adesão	0
Cenário 1.9	2.500 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.3 CENÁRIO 2 - 2.500 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO

Como foi referido em 6.3, no Quadro 6.3.1 e no Quadro 6.3.3 o Cenário 2 caracteriza-se por ter uma adesão de 20% no primeiro ano, aumentado este valor até atingir os 98% no ano 25 e os 100% no ano 40 (horizonte). A população no ano horizonte está também estimada em 2.500 habitantes como no Cenário 1.

Ao considerar-se 20% de adesão, optou-se por fazer uma redução do consumo em todos os nós, para que a redução fosse homogénea em toda a rede, ou seja, considerou-se que em cada arruamento, cada troço de tubagem da rede, apenas 20% da população existente no ano de origem, aderiria e consumia água do sistema de abastecimento.

Outra hipótese, talvez mais favorável quer em termos hidráulicos, quer de qualidade, seria definir zonas ou freguesias que aderiam a 60% ou 80% à rede de abastecimento e, outras zonas, em que ninguém aderiria, perfazendo na mesma os 20% de adesão total. Nesta hipótese ter-se-á uma parte da rede a funcionar sem problemas e outra parte em que não tinha consumos e por isso também não seria problemática. Optou-se então pela primeira hipótese de redução de caudais em toda a rede por parecer um sistema mais abrangente e com resultados mais interessantes no âmbito deste trabalho.

Ao realizar-se a simulação deste cenário, o EPANET dá um aviso que o sistema é instável devido aos caudais muito reduzidos, sendo difícil encontrar equilíbrio nas diversas iterações efectuadas.

Começou-se por efectuar a simulação dinâmica do primeiro subcenário (Quadro 6.3.3 - Subdivisão do Cenário 2), que é o correspondente ao primeiro ano de funcionamento da rede que tem uma adesão de

20%. Analisaram-se então os resultados obtidos para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.3.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Quanto ao parâmetro velocidade, como era de esperar face ao cenário anterior e como se pode ver na Figura 7.3.1, que representa a velocidade em todos os troços na hora de maior consumo, todos os troços têm velocidade inferior a 0,30 m/s, até mesmo troços que não são extremos da rede. Na mesma figura está assinalado, a vermelho, o troço 44 cuja variação de velocidade pode ser vista na Figura 7.3.2.

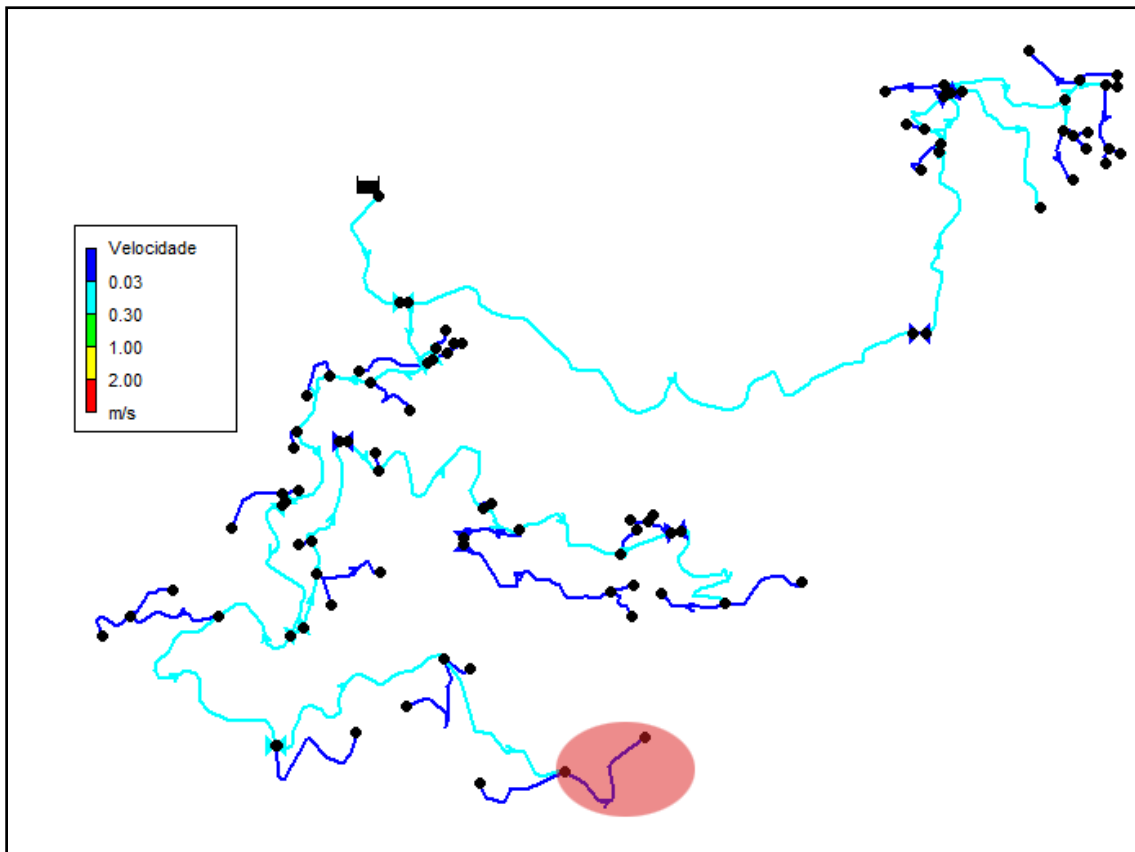


Figura 7.3.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 20% adesão

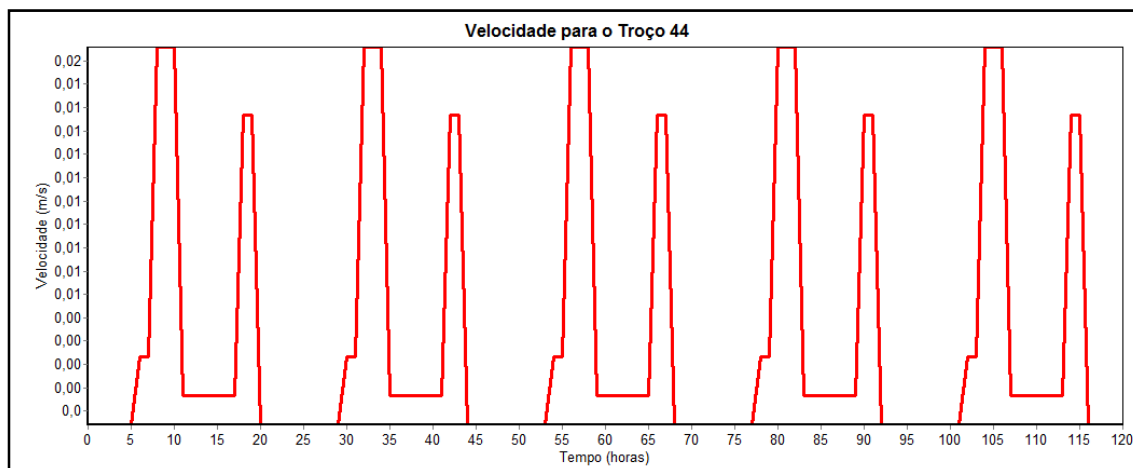


Figura 7.3.2 - Velocidade no troço 44 - ano 1 – adesão 20%

Como se pode ver, a velocidade neste troço atinge o máximo de 0,02 m/s, é de notar que o padrão de consumo utilizado tem factor de ponta 4 (Figura 5.2.9), daí o aspecto da Figura 7.3.2 ser diferente do da Figura 7.2.3. como foi referido em 5.2.3, esse padrão é utilizado sempre que a concentração de habitações seja reduzida, o que acontece neste caso, com apenas 20% de utilizadores aderentes.

Mesmo com o aumento da adesão ao longo do tempo, as velocidades mantêm-se abaixo do limite mínimo nos troços extremos da rede como se pode visualizar na Figura 7.3.3 que representa a velocidade em nos troços da rede, no subcenário 2.9, ou seja, no ano 40 com adesão de 100%.

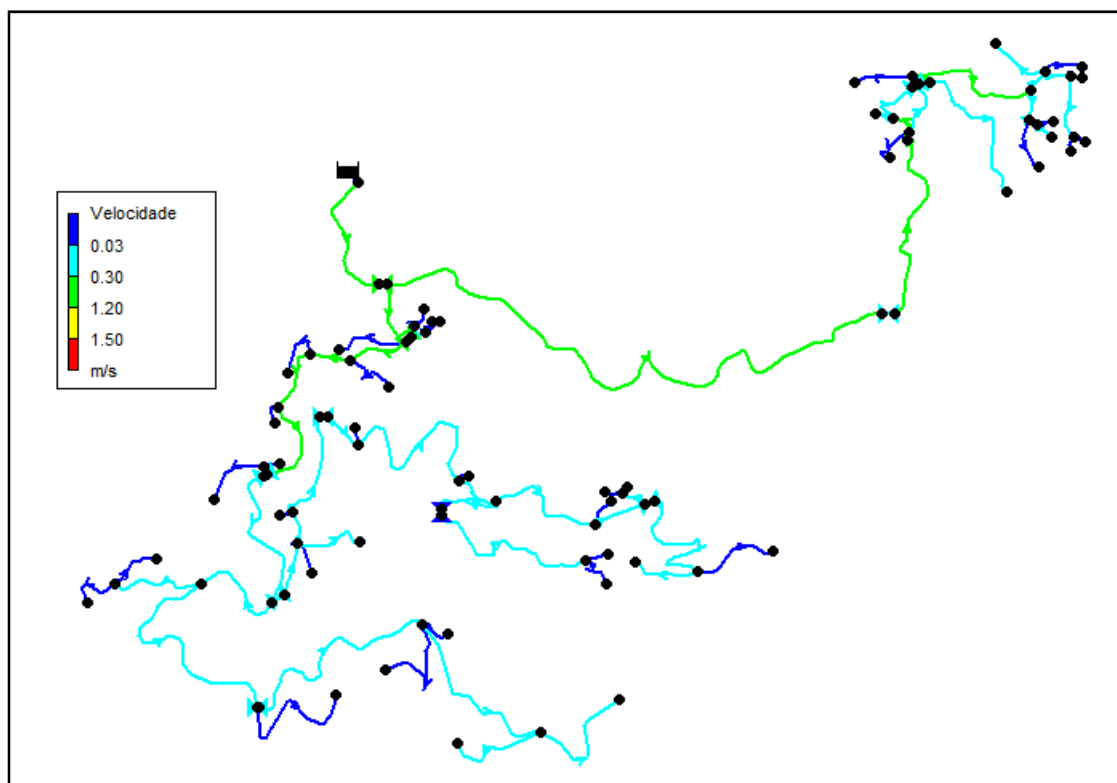


Figura 7.3.3 - Velocidade nos troços da rede - ano 40 - 100% adesão

A rede encontra-se claramente sobredimensionada face as necessidades previstas para esta população, mesmo com adesão total por parte dos consumidores. Na maioria dos troços que estão dimensionados com o diâmetro nominal mínimo regulamentar, as velocidades não atingem os 0,30 m/s, situação que já não se verifica nos troços com diâmetros superiores.

Quanto à pressão não há diferenças significativas entre este cenário e o já apresentado no cenário 1, quer em pressão máxima quer em pressão mínima (ver 7.2.1).

7.3.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Como se viu no ponto anterior, a baixa adesão por parte dos consumidores, aliada ao sobredimensionamento da rede faz com que as velocidades da água na rede sejam muito baixas, o que contribui para o decaimento do cloro residual, que assim não chega em concentração suficiente aos extremos da rede.

A concentração de cloro residual na rede no primeiro ano de funcionamento, com uma adesão de 20% está representada na figura seguinte.

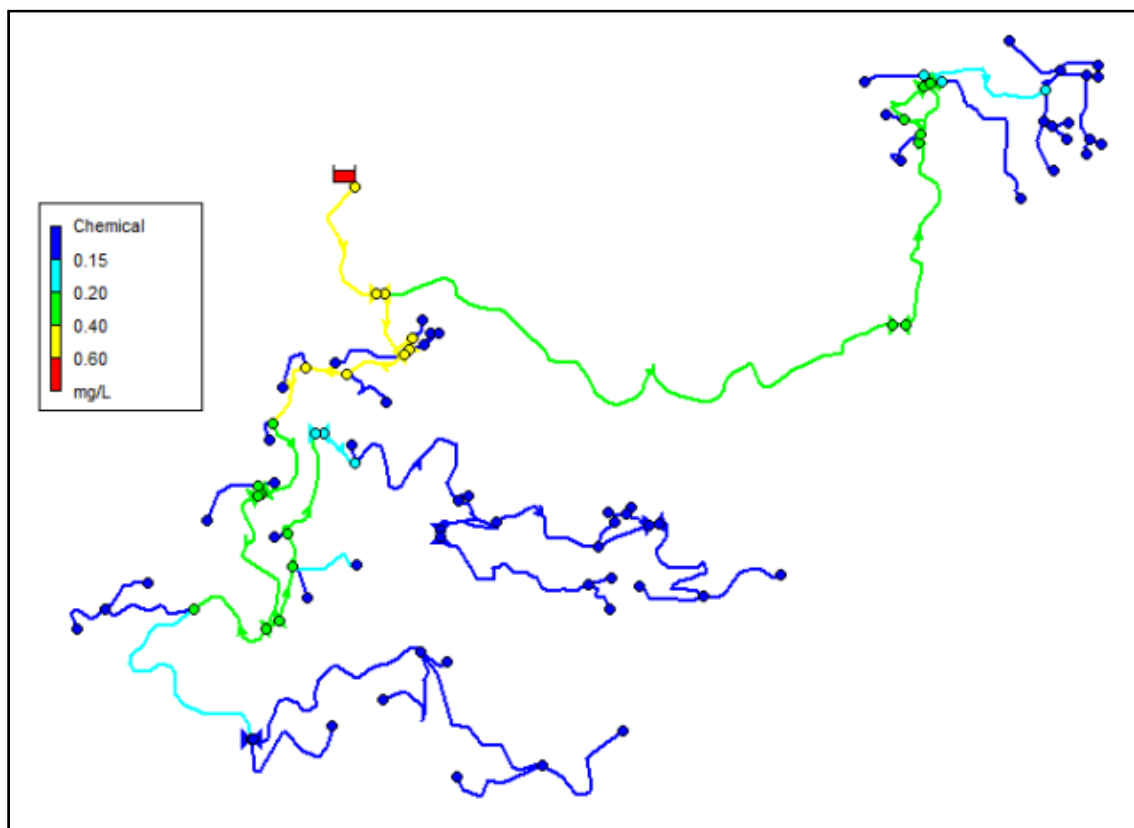


Figura 7.3.4 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%

Comparando a Figura 7.3.4 com a Figura 7.2.7, vê-se claramente que, o parâmetro adesão, influencia consideravelmente a concentração do residual do cloro nos troços de rede com velocidades mais baixas.

Na Figura 7.3.5 pode visualizar-se como a concentração de cloro residual no nó 73, se mantém em 0,00 mg/l durante toda a simulação, ou seja, a concentração do residual que sai do reservatório, decai até zero, não chegando nada ao nó 73, assim como a outros extremos da rede.

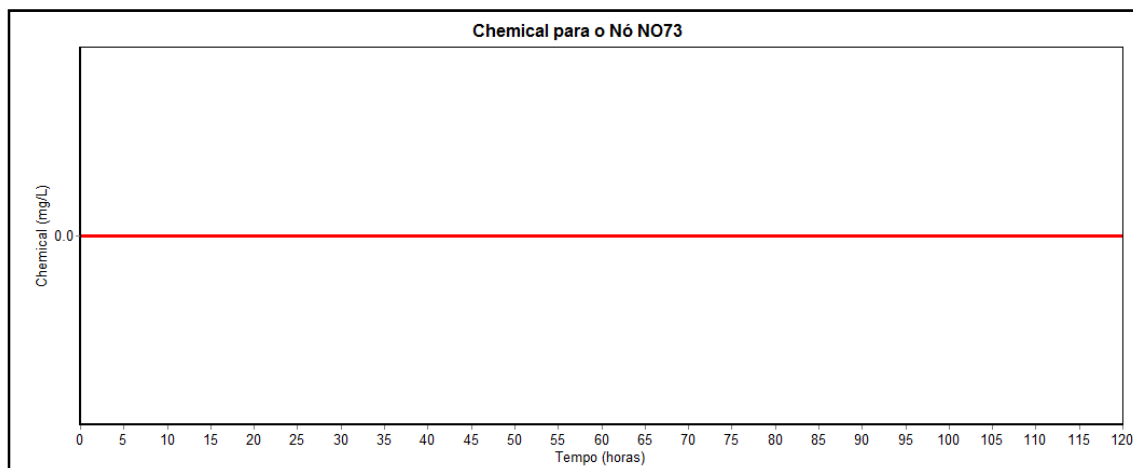


Figura 7.3.5 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 1

Para garantir a qualidade da água em toda extensão da rede, é então necessária a instalação de estações de rechloragem, como se pode ver na Figura 7.3.6.

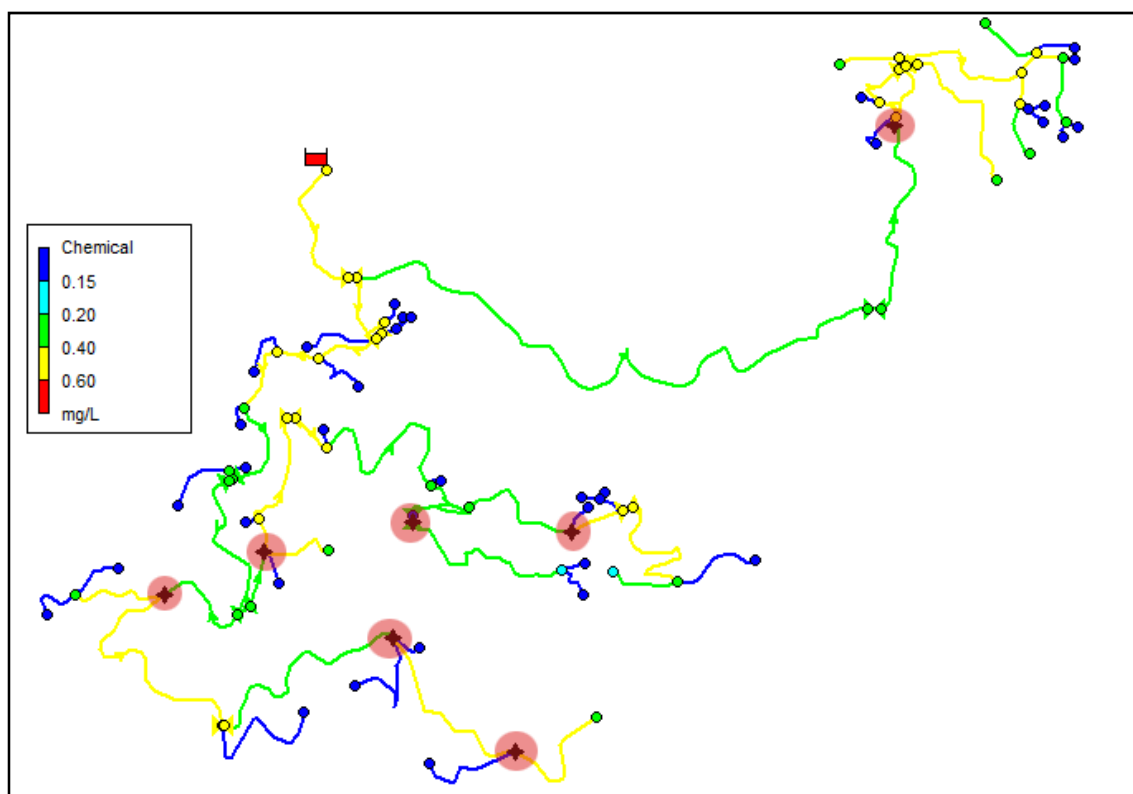


Figura 7.3.6 - Concentração de cloro residual na rede - ano1 - 20% de adesão - 7 estações de rechloragem

São então necessárias 7 estações de rechloragem (marcadas a vermelho na figura) para que todos os troços e nós da rede disponham de uma concentração de cloro residual considerada aceitável. Como se pode observar algumas estações de rechloragem ficam muito próximas das anteriores, mas neste caso, com velocidades tão baixas nas tubagens, cada uma das estações de rechloragem cobre uma extensão muito pequena de conduta, daí serem necessárias em tão grande quantidade.

Os troços que se podem ver a azul-escuro não têm qualquer consumo, devido à adesão ser tão baixa, ou seja, nenhuma das casas existentes nessa rua está ligada à rede de abastecimento, sendo que a concentração de cloro nesses troços é de 0,00 mg/l.

Mais uma vez e como forma de comparação, na Figura 7.3.7 analisa-se em pormenor a variação de concentração de cloro residual no nó 73, em que a instalação de estações de recloração faz com que a concentração passe de 0,00 mg/l para valores acima dos 0,20 mg/l.

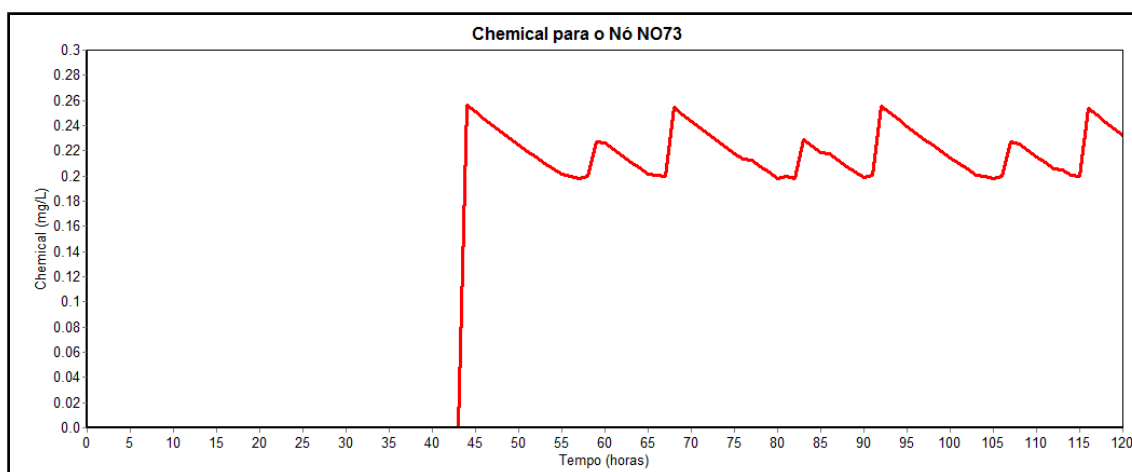


Figura 7.3.7 - variação da concentração de cloro residual no nó 73 com estações de recloração - ano 1

Com o aumento da adesão ao longo do tempo, o Cenário 2 aproxima-se lentamente do Cenário 1.

No Quadro 7.3.1 apresenta-se a evolução do cenário em relação as estações de recloração. No primeiro ano eram necessárias sete estações de recloração, sendo que ao fim de cinco anos, duas destas já são dispensáveis, e ao fim de dez, com uma adesão de 60% apenas são precisas as mesmas duas que no Cenário 1.

Quadro 7.3.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do Cenário 2

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloração
Cenário 2.1	1.745 Habitantes	Ano 1	20% Adesão	7
Cenário 2.2	1.842 Habitantes	Ano 5	40% Adesão	5
Cenário 2.3	1.954 Habitantes	Ano 10	60% Adesão	2
Cenário 2.4	2.056 Habitantes	Ano 15	75% Adesão	2
Cenário 2.5	2.151 Habitantes	Ano 20	85% Adesão	2
Cenário 2.6	2.239 Habitantes	Ano 25	98% Adesão	0
Cenário 2.7	2.320 Habitantes	Ano 30	99% Adesão	0
Cenário 2.8	2.396 Habitantes	Ano 35	99% Adesão	0
Cenário 2.9	2.500 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.4 CENÁRIO 3 - 2.500 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO

Como foi referido em 6.3, no Quadro 6.3.1 e no Quadro 6.3.4 o Cenário 3 caracteriza-se por ter uma adesão de 15% no primeiro ano, aumentado este valor até atingir os 81% no ano 40 (horizonte). A população no ano horizonte está também estimada em 2.500 habitantes como nos cenários anteriores.

Ao realizar-se a simulação deste cenário, o EPANET dá um aviso que o sistema é instável devido aos caudais muito reduzidos, sendo difícil encontrar equilíbrio nas diversas iterações efectuadas.

Começou-se por efectuar a simulação dinâmica do primeiro subcenário (Quadro 6.3.4 - Subdivisão do Cenário 3), que é o correspondente ao primeiro ano de funcionamento da rede que tem uma adesão de 15%. Analisaram-se então os resultados obtidos para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.4.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Neste cenário, e particularmente neste subcenário (3.1) com uma adesão de apenas 15%, o EPANET mais uma vez encontra dificuldades para conseguir o equilíbrio do sistema, dando mensagens de erro nesse sentido.

As velocidades nas tubagens como era de esperar são ainda inferiores às registadas no cenário 2, e que se podem observar na Figura 7.3.1, de tal forma que a água nas tubagens está praticamente parada o dia todo.

Ao longo do tempo de exploração as velocidades aumentam e tornam-se menos problemáticas, ainda assim mantendo-se sempre abaixo das registadas no Cenário 2, uma vez que a adesão é sempre inferior, mantendo-se as mesmas conclusões quanto à necessidade de prever dispositivos adequados para descarga periódica.

Quanto à pressão nos nós da rede, este cenário não apresenta problemas, mantendo-se também sensivelmente igual aos anteriores.

7.4.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

As baixas velocidades características destes cenários com adesões baixas levam à necessidade de, mais uma vez, instalar estações de rechloragem na rede.

Como se pode ver no quadro, são necessárias 7 estações de rechloragem para o primeiro subcenário, que corresponde aos primeiros anos de exploração, sendo que a partir do quinto ano, esse valor começa a diminuir, inversamente à adesão.

Quadro 7.4.1 - Evolução do número de estações de rechloragem ao longo do Cenário 3

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Rechloragem
Cenário 3.1	1.745 Habitantes	Ano 1	15% Adesão	7
Cenário 3.2	1.842 Habitantes	Ano 5	25% Adesão	6
Cenário 3.3	1.954 Habitantes	Ano 10	41% Adesão	5
Cenário 3.4	2.056 Habitantes	Ano 15	55% Adesão	3
Cenário 3.5	2.151 Habitantes	Ano 20	67% Adesão	2
Cenário 3.6	2.239 Habitantes	Ano 25	75% Adesão	2
Cenário 3.7	2.320 Habitantes	Ano 30	77% Adesão	2
Cenário 3.8	2.396 Habitantes	Ano 35	79% Adesão	2
Cenário 3.9	2.500 Habitantes	Ano 40	81% Adesão	0

7.5 CENÁRIO 4 – 5.000 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO

O Cenário 4 é caracterizado como se pode ver no Quadro 6.3.1 por ter uma população no ano horizonte de 5.000 habitantes que adere totalmente à rede abastecimento logo no primeiro ano de funcionamento.

Os diâmetros da rede são praticamente iguais aos do cenário 1, pois como se viu estes estavam sobredimensionados nos cenários anteriores, com uma população de 2.500 habitantes.

Analísaram-se então, mais uma vez, os resultados obtidos para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.5.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Na Figura 7.5.1 apresenta-se o resultado da simulação para a velocidade de escoamento da água nos troços da rede, no primeiro ano de exploração.

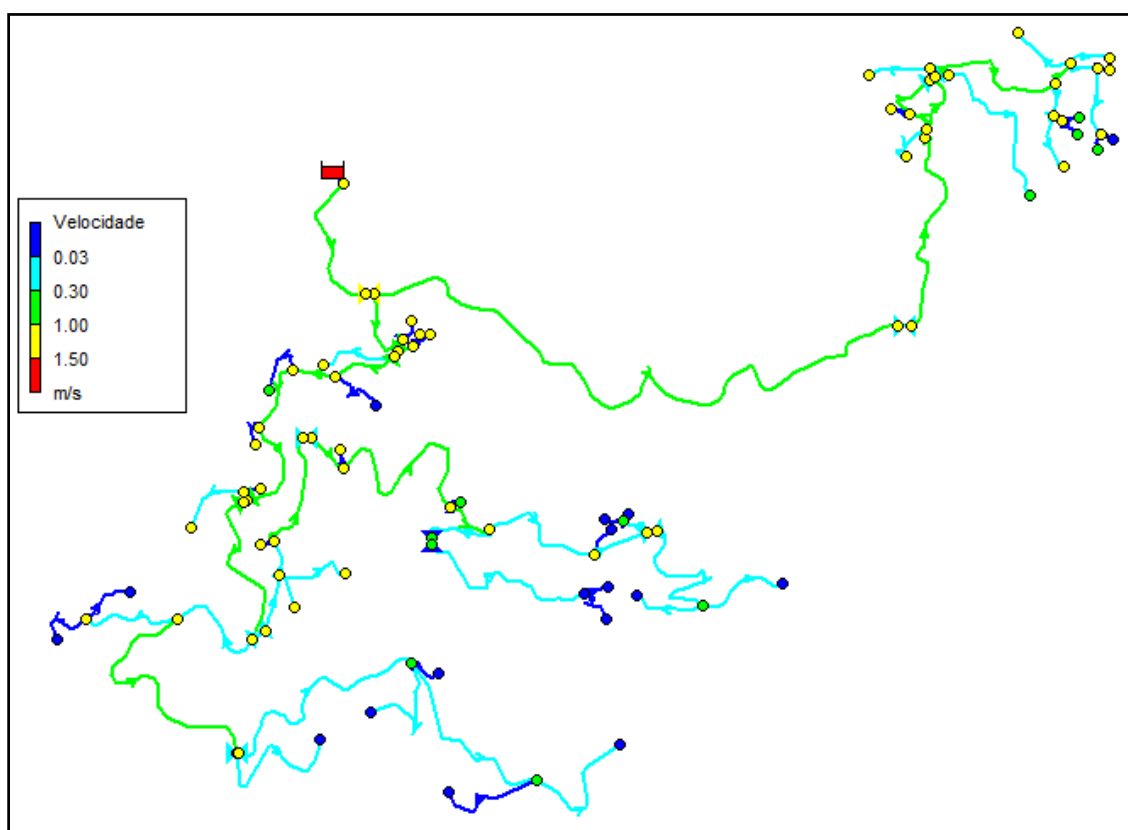


Figura 7.5.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 100% adesão

É clara a diferença entre este cenário e o Cenário 1 (Figura 7.2.2), sendo que ambos têm uma adesão de 100% logo no primeiro ano. Como se pode ver, ainda assim com o dobro da população e adesão a 100%, existem troços marcados a azul, ou seja, em que a velocidade não atinge os valores mínimos regulamentares, pelo menos no primeiro ano de exploração, continuando a ser preciso prever dispositivos de descarga.

A nível de pressão mínima e máxima não há diferenças entre este cenários e os anteriores.

7.5.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

A simulação do módulo de qualidade, indica que a concentração do cloro residual na rede, que pode ser vista na Figura 7.5.2, é considerada suficiente, sendo que não necessita de estações de recloração logo no primeiro ano de exploração.

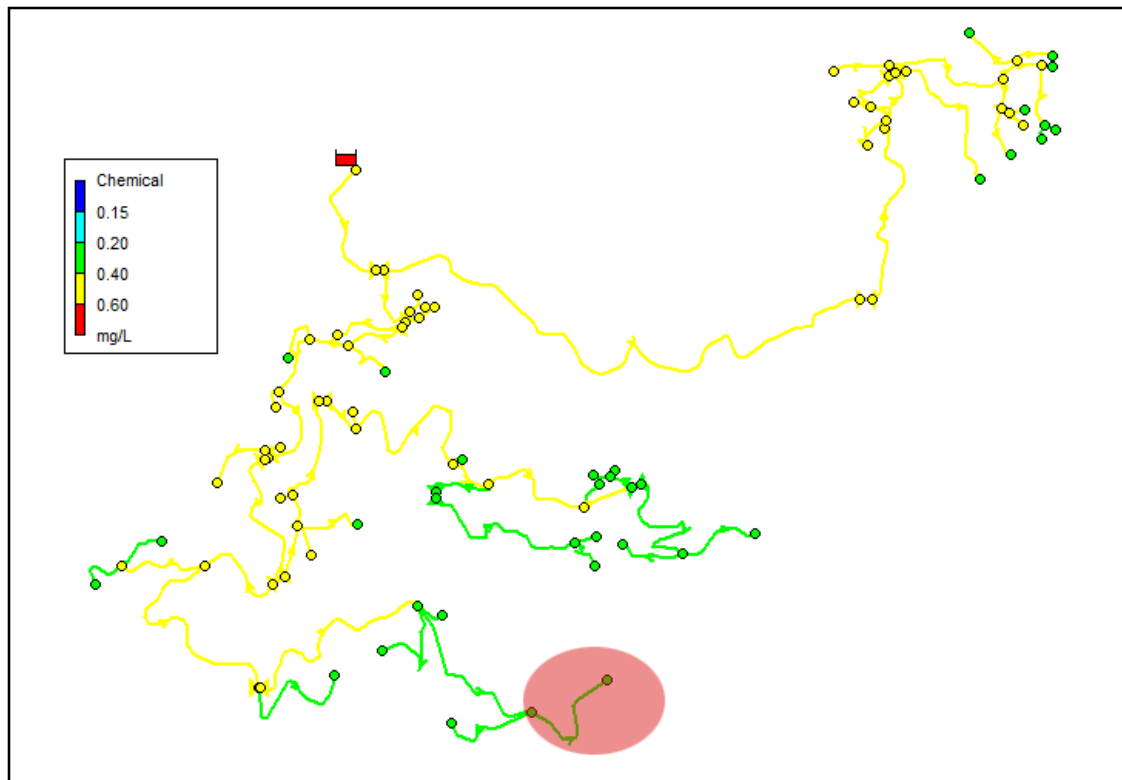


Figura 7.5.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 100%

Todos os troços e nós da rede são marcados a verde e amarelo, o que significa que a concentração de cloro residual se encontra entre 0,20 mg/l e 0,60 mg/l.

A análise da variação da concentração no nó terminal do troço 44 (marcado a vermelho) pode ser seguida na Figura 7.5.2.

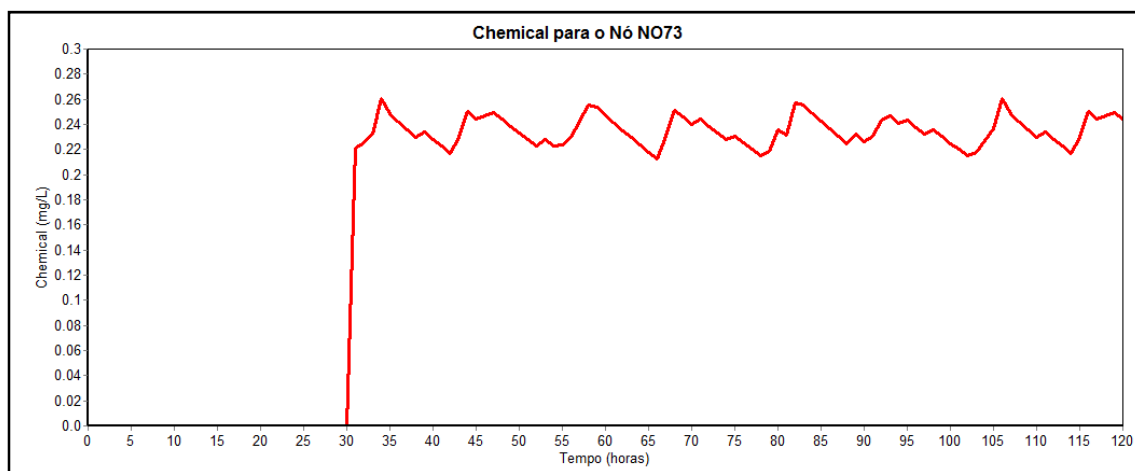


Figura 7.5.3 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 1

Sem a existência de qualquer estação de recloração, este nó extremo da rede, tem concentração de cloro residual acima do valor mínimo considerado, logo no primeiro ano de exploração, não sendo portanto necessário reforçar a concentração de cloro por nenhum meio, ao longo de todo o cenário.

Por uma forma de sistematização, à semelhança do que foi feito anteriormente, apresenta-se o Quadro 7.5.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do Cenário 4, onde se pode ver a evolução do número de estações de recloração necessárias, que é nulo neste caso.

Quadro 7.5.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do Cenário 4

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloração
Cenário 4.1	3.491 Habitantes	Ano 1	100% Adesão	0
Cenário 4.2	3.684 Habitantes	Ano 5	100% Adesão	0
Cenário 4.3	3.908 Habitantes	Ano 10	100% Adesão	0
Cenário 4.4	4.113 Habitantes	Ano 15	100% Adesão	0
Cenário 4.5	4.302 Habitantes	Ano 20	100% Adesão	0
Cenário 4.6	4.478 Habitantes	Ano 25	100% Adesão	0
Cenário 4.7	4.640 Habitantes	Ano 30	100% Adesão	0
Cenário 4.8	4.792 Habitantes	Ano 35	100% Adesão	0
Cenário 4.9	5.000 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.6 CENÁRIO 5 – 5.000 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO

Como foi referido em 6.3, no Quadro 6.3.1 o Cenário 5 caracteriza-se por ter uma adesão de 20% no primeiro ano, aumentado este valor até atingir os 98% no ano 25 e os 100% no ano horizonte. A população no ano horizonte está também estimada em 5.000 habitantes.

Começou-se por efectuar a simulação dinâmica do primeiro subcenário, que é o correspondente ao primeiro ano de funcionamento da rede analisando-se então os resultados obtidos para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.6.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Na Figura 7.6.1 pode analisar-se a simulação da velocidade da água na rede referente a este cenário, no primeiro ano de funcionamento.

De notar que ao executar esta simulação o EPANET dá o aviso de sistema instável, tal como tinha sucedido no Cenário 2 e Cenário 3, ou seja, os cenários com taxas de adesão menores nos primeiros anos.

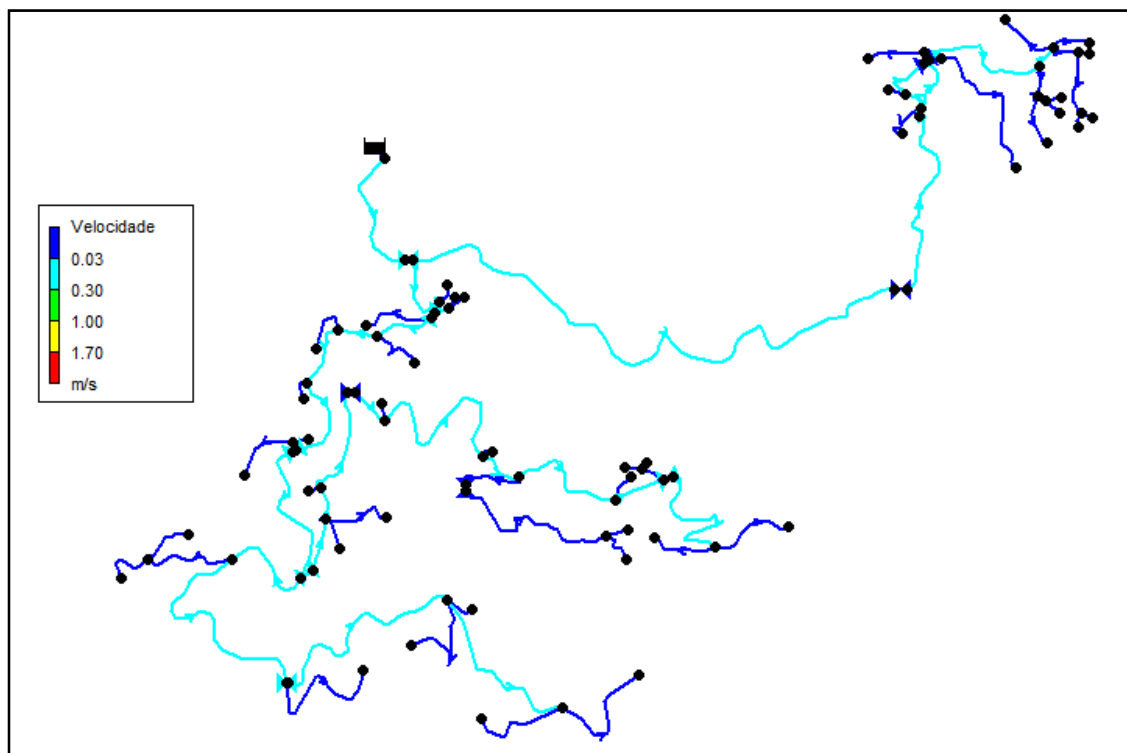


Figura 7.6.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 20% adesão

Como se pode ver, a velocidade na hora de maior consumo é inferior ao valor mínimo recomendado no regulamento em toda a extensão da rede, tal como se verificou no Cenário 2, em condições semelhantes com menos população.

Ao longo do tempo as velocidades vão aumentando, aproximando-se a partir dos 25 anos, dos valores de velocidades obtidos no cenário anterior.

Não há nada a referir acerca dos valores de pressões máximas e mínimas, mas a nível de referência, apresenta-se aqui (Figura 7.6.2) a variação de pressão do nó 73, para se poder comparar com o mesmo obtido no Cenário 1 (Figura 7.2.6 - Variação da pressão no nó 73).

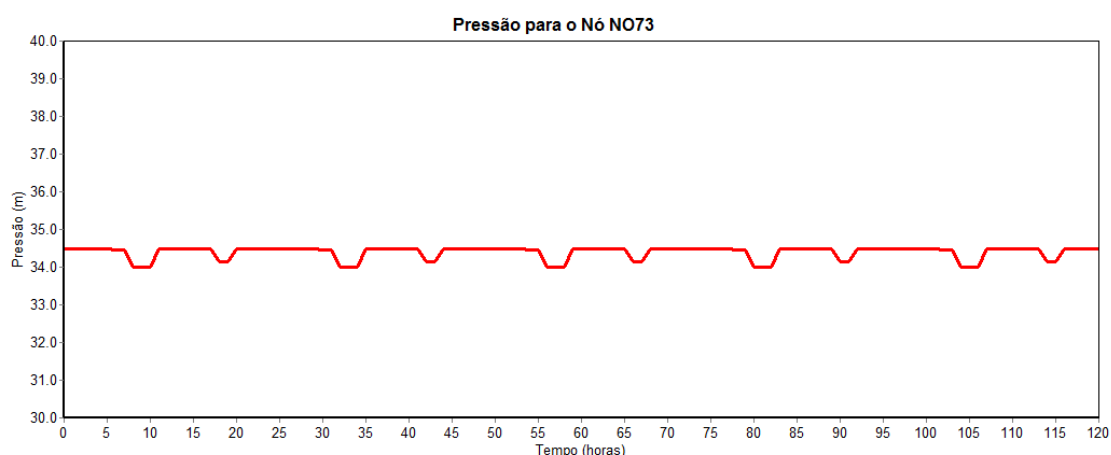


Figura 7.6.2 - Variação da pressão no nó 73

Como se pode verificar, a flutuação de pressão neste nó ao longo do dia é insignificativa.

7.6.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Na Figura 7.6.3 pode visualizar-se a concentração de cloro em todos os troços da rede.

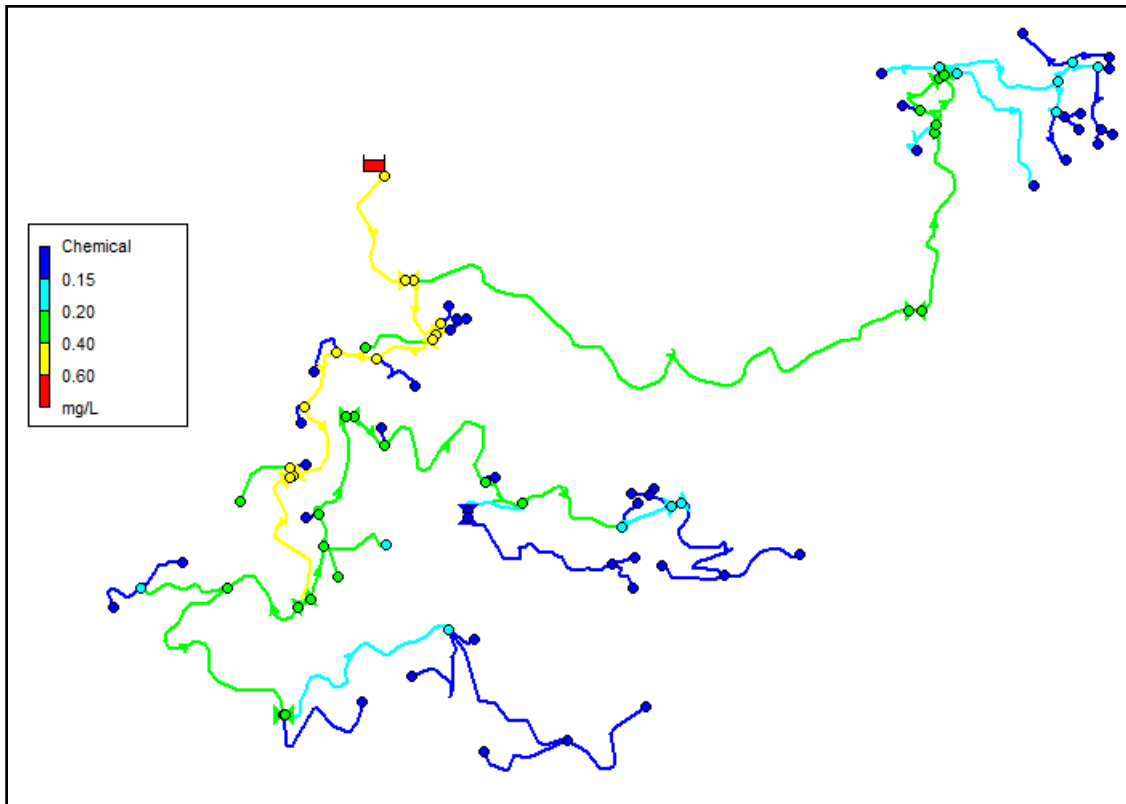


Figura 7.6.3 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%

Comparando com a Figura 7.3.4 nota-se a existência de alguns troços em que as concentrações de cloro residual aumentam, atingindo valores que se consideram aceitáveis, porém, é necessária a instalação de estações de rechloragem durante os primeiros anos de exploração para que os nós extremos da rede estejam protegidos pelo cloro residual.

Quadro 7.6.1 - Evolução do número de estações de rechloragem ao longo do Cenário 5

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Rechloragem
Cenário 5.1	3.491 Habitantes	Ano 1	20% Adesão	5
Cenário 5.2	3.684 Habitantes	Ano 5	40% Adesão	2
Cenário 5.3	3.908 Habitantes	Ano 10	60% Adesão	1
Cenário 5.4	4.113 Habitantes	Ano 15	75% Adesão	0
Cenário 5.5	4.302 Habitantes	Ano 20	85% Adesão	0
Cenário 5.6	4.478 Habitantes	Ano 25	98% Adesão	0
Cenário 5.7	4.640 Habitantes	Ano 30	99% Adesão	0
Cenário 5.8	4.792 Habitantes	Ano 35	99% Adesão	0
Cenário 5.9	5.000 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.7 CENÁRIO 6 – 5.000 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO

O Cenário 6 caracteriza-se por ter uma adesão de 15% no primeiro ano, aumentado este valor lentamente até atingir os 81% no ano 40. A população no ano horizonte está estimada em 5.000 habitantes. Ao executar a simulação deste cenário, no primeiro ano de funcionamento (subcenário 6.1), o EPANET informa que o sistema é instável devido aos caudais muito reduzidos, sendo difícil encontrar equilíbrio nas diversas iterações efectuadas.

Em seguida apresentam-se os resultados obtidos para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.7.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Na simulação do subcenário 6.1, como foi referido, o EPANET apresenta mensagens de erros de instabilidade do sistema, o que recorrentemente quer dizer velocidades muito baixas nos troços da rede. Efectivamente e da mesma forma que aconteceu em relação ao Cenário 2 e Cenário 3, em que os resultados eram muito parecidos quanto às velocidades no primeiro ano, este cenário é em tudo semelhante ao cenário anterior (Cenário 5), já que a diferença de 5% de adesão entre os dois, não é suficiente para diferenças significativas.

De referir, que a partir do ano 5 de exploração deste cenário, quando a adesão é de 25%, o EPANET já não apresenta erros de instabilidade, embora as velocidades ainda se mantenham muito abaixo do limite mínimo de 0,30 m/s numa grande maioria de troços.

7.7.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Quanto à qualidade da água este cenário é também muito semelhante ao anterior notando-se porém algumas diferenças nalguns troços de conduta mais distantes do reservatório.

Na Figura 7.7.1 pode visualizar-se a concentração de cloro residual na rede, sendo assinalados alguns troços que devem ser comparados com os mesmos troços da Figura 7.6.3, para assim ser mais perceptível as diferenças que ocorrem em termos de qualidade da água em dois casos tão próximos.

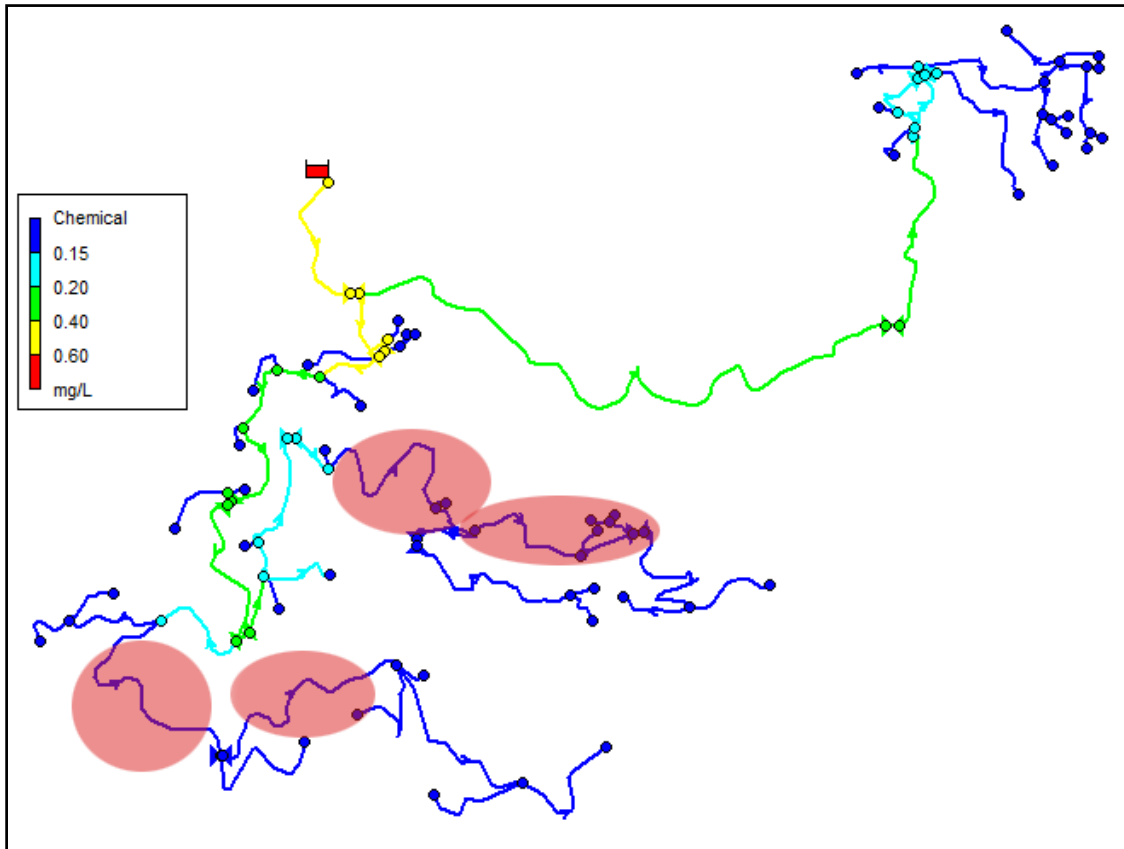


Figura 7.7.1 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 15%

Comparando as duas figuras, com especial atenção aos troços assinalados, pode-se concluir que pelo menos na hora de maior consumo, a situação com adesão de 20% apresenta troços marcados a verde, que representam concentração de cloro aceitável, e que os mesmos troços numa situação de adesão 15% apresentam valores de concentração de cloro residual bem inferiores, não atingindo os valores mínimos.

Pode-se visualizar também na Figura 7.7.2, a variação da concentração do cloro no nó 73.

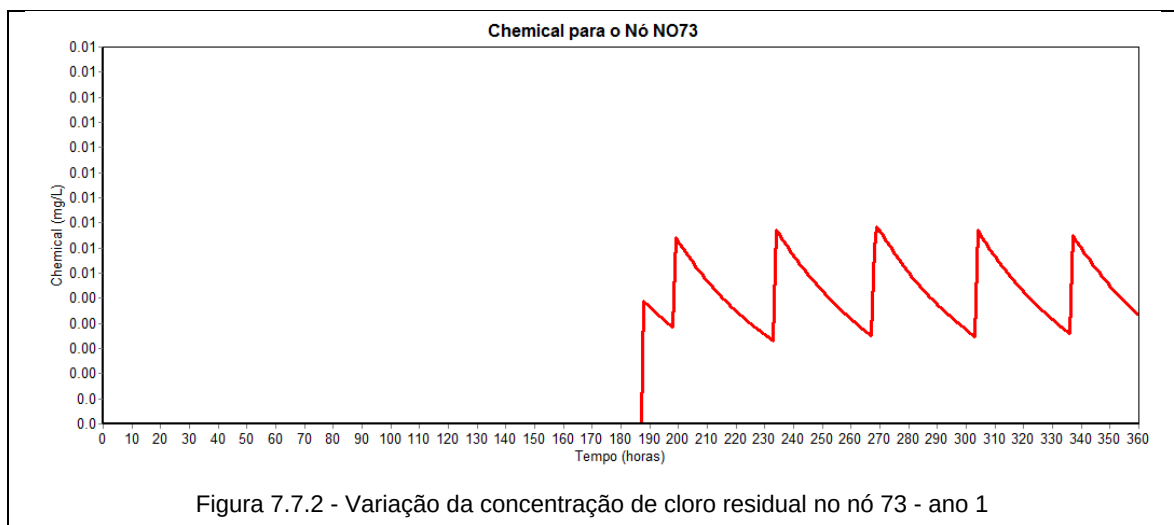


Figura 7.7.2 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 1

Só ao fim de cerca de 190 horas é que o cloro residual que sai do reservatório chega ao nó 73, devido as baixas velocidades na rede, mas em quantidade tão baixa que a sua concentração não passa de 0,10 mg/l. Contudo, se compararmos esta figura com a Figura 7.3.5, observa-se que já há uma melhoria entre os dois cenários, devido ao aumento da população.

No Quadro 7.7.1, está exposta a evolução do Cenário 6 no que diz respeito ao número de estações de recloração necessárias.

Quadro 7.7.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do Cenário 6

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloração
Cenário 5.1	3.491 Habitantes	Ano 1	15% Adesão	5
Cenário 5.2	3.684 Habitantes	Ano 5	25% Adesão	4
Cenário 5.3	3.908 Habitantes	Ano 10	41% Adesão	2
Cenário 5.4	4.113 Habitantes	Ano 15	55% Adesão	1
Cenário 5.5	4.302 Habitantes	Ano 20	67% Adesão	0
Cenário 5.6	4.478 Habitantes	Ano 25	75% Adesão	0
Cenário 5.7	4.640 Habitantes	Ano 30	77% Adesão	0
Cenário 5.8	4.792 Habitantes	Ano 35	79% Adesão	0
Cenário 5.9	5.000 Habitantes	Ano 40	81% Adesão	0

A título de exemplo e de comparação, pode ver-se na Figura 7.7.3, a variação da concentração de cloro residual no nó 73 no subcenário 5.4, e em seguida, na Figura 7.7.4, a concentração de cloro em toda a rede, para o mesmo cenário, estando marcada a vermelho a única estação de recloração considerada.

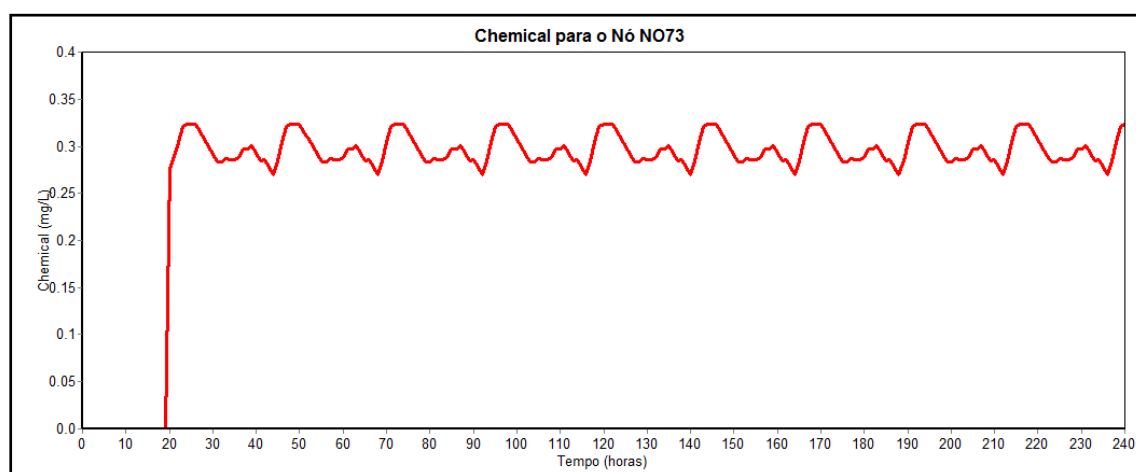


Figura 7.7.3 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 15

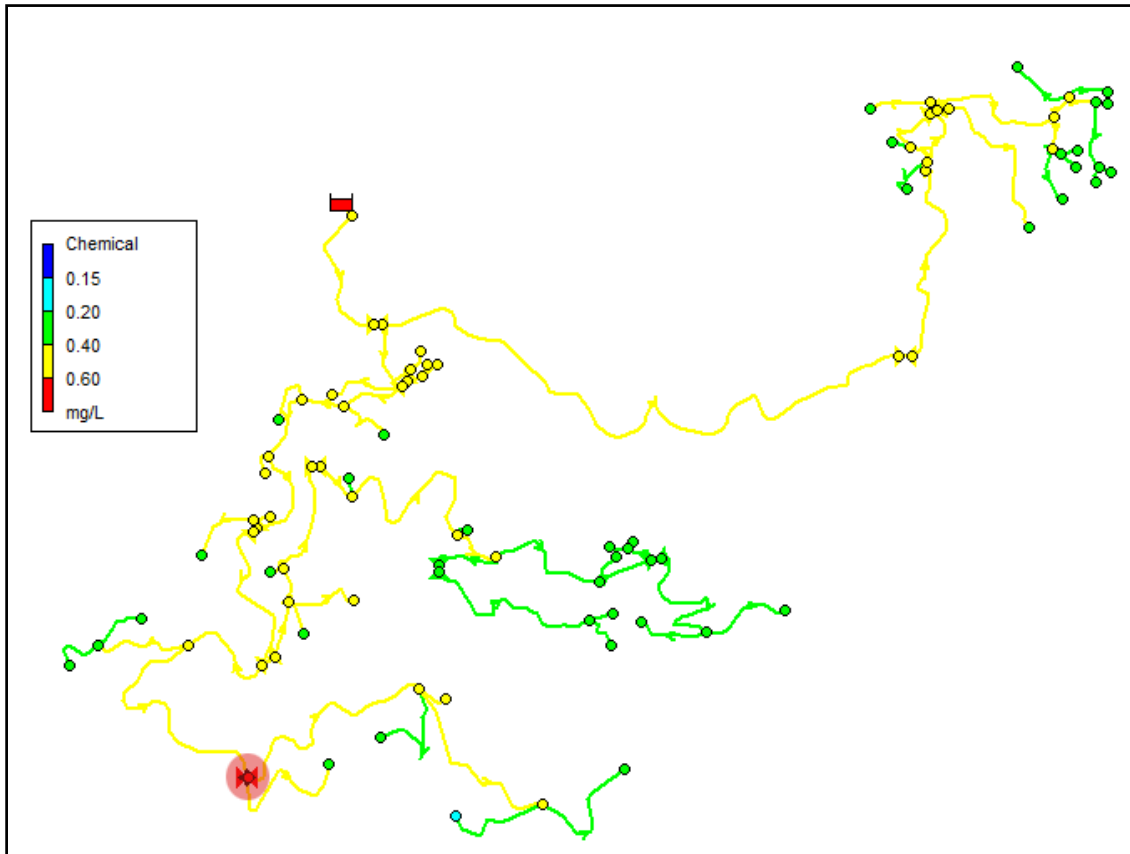


Figura 7.7.4 - Concentração de cloro residual na rede – ano15 - 55% de adesão - 1 estação de recloração

7.8 CENÁRIO 7 – 7.500 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO

O Cenário 7 é caracterizado como foi descrito no Quadro 6.3.1 por ter uma população no ano horizonte de 7.500 habitantes que adere totalmente à rede abastecimento logo no primeiro ano de funcionamento.

Analisaram-se então, mais uma vez, os resultados obtidos para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.8.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Da mesma forma que nos cenários anteriores, começou-se por realizar a simulação hidráulica para o subcenário 7.1, que representa o primeiro ano de funcionamento. A Figura 7.8.1 representa a velocidade de escoamento da água nos troços da rede.

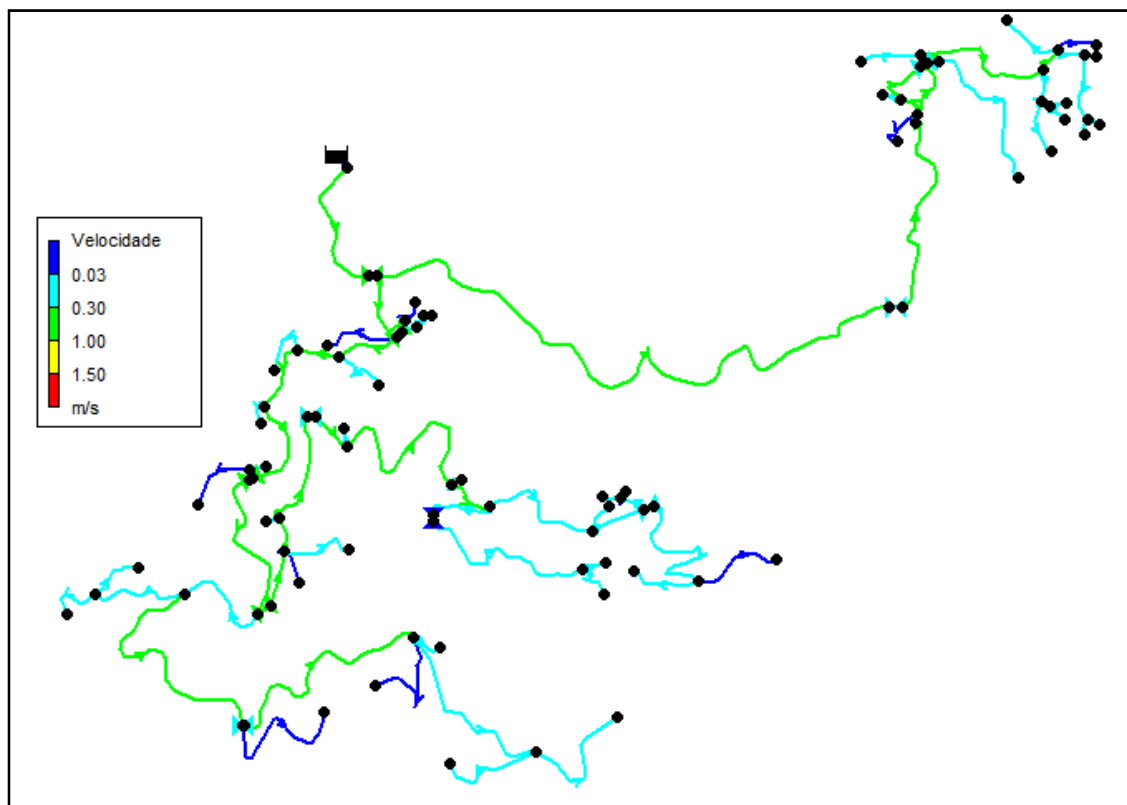


Figura 7.8.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 100% adesão

Uma grande parte dos troços apresenta já velocidades aceitáveis, com a exceção dos nós extremos como é habitual. Sendo ainda, de acordo com o regulamento, prever dispositivos de descarga nesses troços.

Como acontece nos cenários anteriores, ao longo do tempo, e com a população e capitação a aumentar, as velocidades da água na tubagem aumenta também, sendo cada vez menos os troços com velocidades de escoamento inferiores ao regulamentar.

7.8.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

A simulação do módulo de qualidade indica que a concentração do cloro residual na rede, que pode ser visto na Figura 7.8.2, é considerada suficiente, sendo que não necessita de estações de rechloragem logo no primeiro ano de exploração.

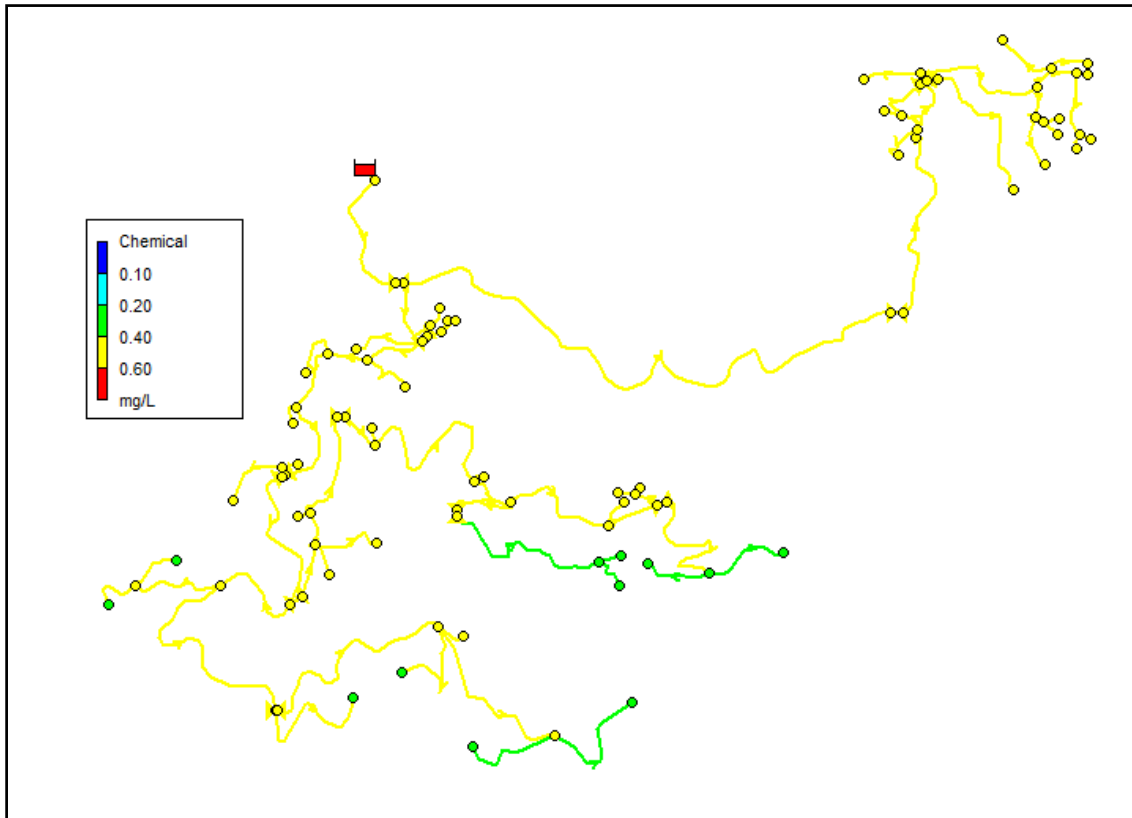


Figura 7.8.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 100%

Como era de esperar, tendo em conta o resultado obtido para o mesmo parâmetro no Cenário 4, não é necessária nenhuma estação de rechloragem, sendo que noutros casos, com populações maiores, e, a mesma taxa de adesão, os resultados serão ainda melhores.

Na Figura 7.8.3 analisa-se em pormenor a variação de concentração de cloro no nó 73.

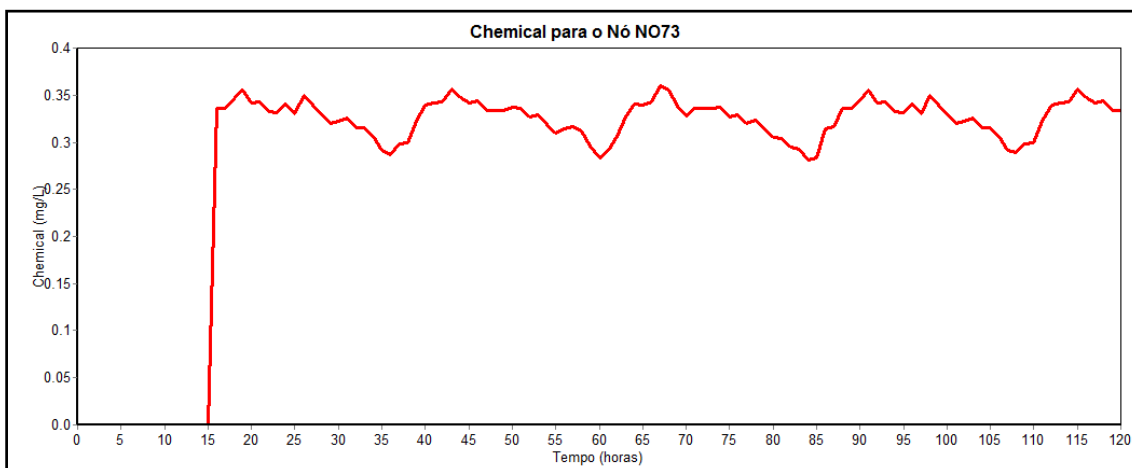


Figura 7.8.3 - Variação da concentração de cloro residual no nó 73 - ano 1

Logo no primeiro ano, e sem qualquer estação de rechloragem, o nó 73, situado num dos extremos mais afastados do reservatório, tem uma concentração de cloro superior a 0,25 mg/l.

Por uma forma de sistematização, à semelhança do que foi feito anteriormente, apresenta-se o, Quadro 7.8.1, onde se explicita a evolução do número de estações de recloração necessárias, que é nulo neste caso.

Quadro 7.8.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do Cenário 7

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloração
Cenário 7.1	5.236 Habitantes	Ano 1	100% Adesão	0
Cenário 7.2	5.526 Habitantes	Ano 5	100% Adesão	0
Cenário 7.3	5.861 Habitantes	Ano 10	100% Adesão	0
Cenário 7.4	6.169 Habitantes	Ano 15	100% Adesão	0
Cenário 7.5	6.453 Habitantes	Ano 20	100% Adesão	0
Cenário 7.6	6.716 Habitantes	Ano 25	100% Adesão	0
Cenário 7.7	6.960 Habitantes	Ano 30	100% Adesão	0
Cenário 7.8	7.188 Habitantes	Ano 35	100% Adesão	0
Cenário 7.9	7.500 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.9 CENÁRIO 8 – 7.500 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO

O Cenário 8 caracteriza-se por ter uma adesão de 20% no primeiro ano, aumentado este valor até atingir os 98% no ano 25 e os 100% no ano horizonte. A população no ano horizonte está também estimada em 7.500 habitantes, como no caso do cenário anterior.

7.9.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Ao proceder à simulação correspondente ao primeiro ano de exploração, com adesão de 20%, verifica-se que este cenário é muito parecido com o Cenário 5, no que diz respeito ao parâmetro velocidade, com o escoamento a não atingir os valores mínimos regulamentares.

Em termos gráficos, o resultado da simulação é semelhante ao registado na Figura 7.6.1, não acrescentando nada de novo, tendo-se optado por não o colocar.

De referir porém, que ao executar esta simulação, e contrariamente ao que aconteceu em todos os anteriores cenários com taxa de adesão de 20% e inferior, o EPANET não apresenta qualquer erro de instabilidade de sistema.

7.9.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

No primeiro ano de exploração deste cenário (subcenário 8.1) a concentração de cloro residual em grande parte dos nós da rede, já se encontra em valores aceitáveis, como se pode ver na Figura 7.9.1.

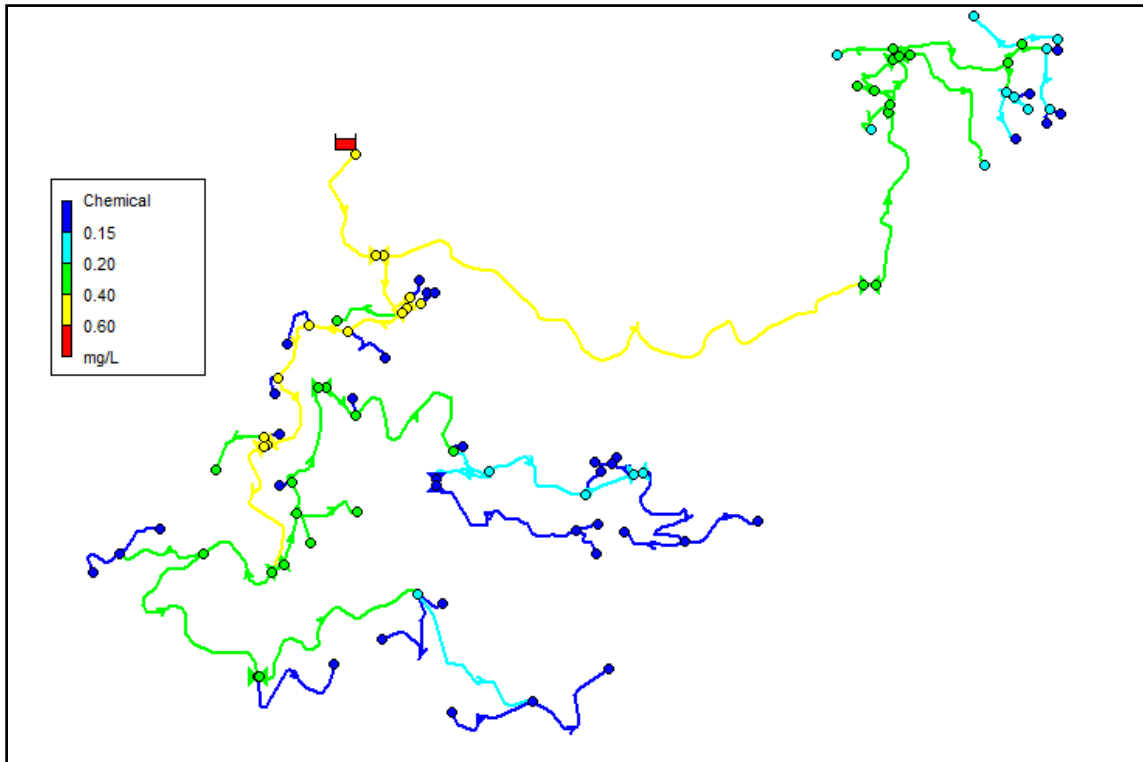


Figura 7.9.1 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%

Comparando com a mesma situação, no Cenário 5, conclui-se que existe uma maior concentração de cloro na freguesia a norte, sendo que nos extremos da rede continua a haver insuficiência de cloro, sendo necessário instalar estações de rechloragem.

As estações de rechloragem, neste cenário, só serão necessárias nos primeiros anos. Na Figura 7.9.2 apresenta-se a concentração de cloro no ano 10 (subcenário 8.2) e como se pode ver todos os troços e nós têm concentração de cloro adequada, estando marcados a verde e amarelo, que como se pode ver na legenda indica que têm concentração de cloro entre 0,20 e 0,60 mg/l.

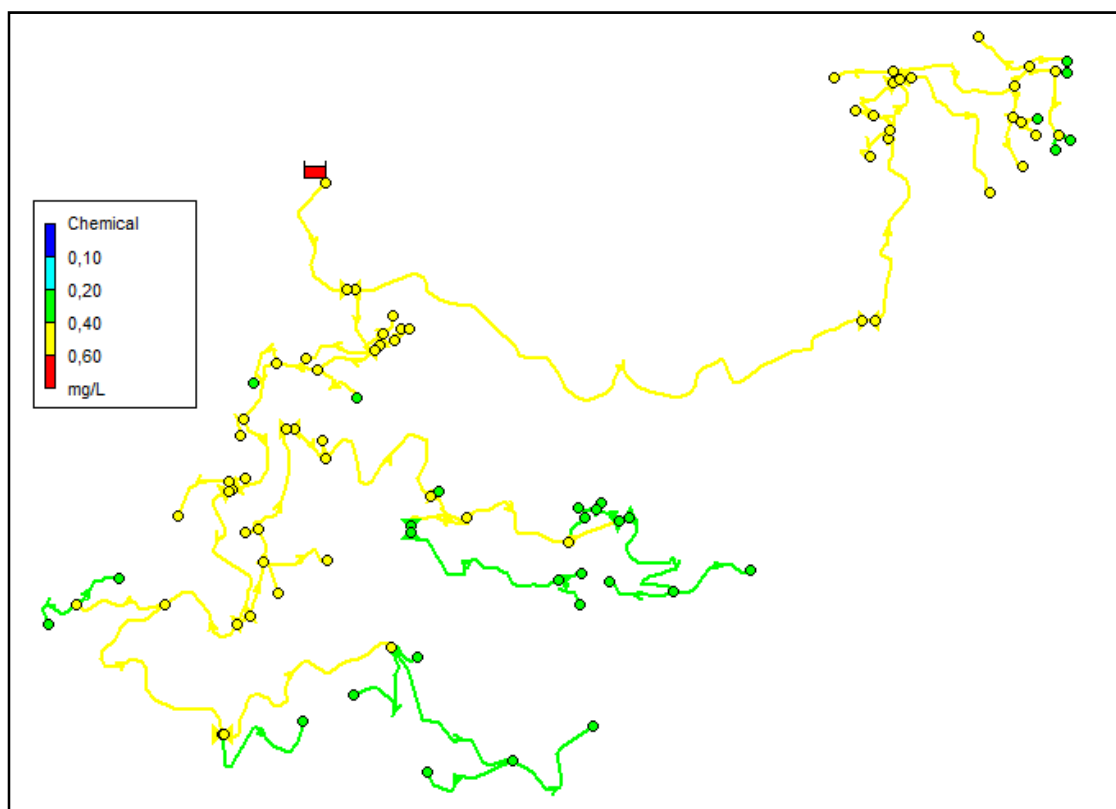


Figura 7.9.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 10 – adesão 60%

O Quadro 7.9.1 mostra a evolução das necessidades de estações de recloração ao longo do Cenário 8.

Quadro 7.9.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do Cenário 8

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloração
Cenário 8.1	5.236 Habitantes	Ano 1	20% Adesão	4
Cenário 8.2	5.526 Habitantes	Ano 5	40% Adesão	2
Cenário 8.3	5.861 Habitantes	Ano 10	60% Adesão	0
Cenário 8.4	6.169 Habitantes	Ano 15	75% Adesão	0
Cenário 8.5	6.453 Habitantes	Ano 20	85% Adesão	0
Cenário 8.6	6.716 Habitantes	Ano 25	98% Adesão	0
Cenário 8.7	6.960 Habitantes	Ano 30	99% Adesão	0
Cenário 8.8	7.188 Habitantes	Ano 35	99% Adesão	0
Cenário 8.9	7.500 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.10 CENÁRIO 9 – 7.500 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO

O Cenário 9 caracteriza-se, tal como o Cenário 6 e o Cenário 3, por ter uma adesão de 15% no primeiro ano, aumentado este valor lentamente até atingir os 81% no ano 40. A população no ano horizonte está estimada em 7.500 habitantes. Em seguida apresentam-se as conclusões obtidas para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.10.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Ao executar a simulação correspondente ao primeiro ano de exploração, com adesão de 15%, facilmente se nota que tal como nos outros cenários com estas taxas de adesão as velocidades de escoamento são muito inferiores ao óptimo, não atingindo os valores mínimos regulamentares.

Em termos gráficos, o resultado da simulação é semelhante ao registado na Figura 7.6.1, não acrescentando nada de novo, tendo-se optado por não o colocar.

7.10.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Este cenário em relação à qualidade da água é muito parecido com o anterior, sendo que mais uma vez vai ser necessária a instalação de estações de recloração para que os extremos da rede mais afastados do reservatório possam dispor de água com boa protecção bacteriológica.

No quadro seguinte pode-se visualizar o número de estações de recloração necessárias ao longo do tempo de exploração do Cenário 9.

Quadro 7.10.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do Cenário 9

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloração
Cenário 9.1	5.236 Habitantes	Ano 1	15% Adesão	4
Cenário 9.2	5.526 Habitantes	Ano 5	25% Adesão	2
Cenário 9.3	5.861 Habitantes	Ano 10	41% Adesão	0
Cenário 9.4	6.169 Habitantes	Ano 15	55% Adesão	0
Cenário 9.5	6.453 Habitantes	Ano 20	67% Adesão	0
Cenário 9.6	6.716 Habitantes	Ano 25	75% Adesão	0
Cenário 9.7	6.960 Habitantes	Ano 30	77% Adesão	0
Cenário 9.8	7.188 Habitantes	Ano 35	79% Adesão	0
Cenário 9.9	7.500 Habitantes	Ano 40	81% Adesão	0

7.11 CENÁRIO 10 – 10.000 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO

O Cenário 10 é caracterizado como se pode ver no Quadro 6.3.1 por ter uma população no ano horizonte de 10.000 habitantes que adere totalmente à rede abastecimento logo no primeiro ano de funcionamento.

7.11.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Ao executar a simulação do primeiro subcenário (10.1), que corresponde ao primeiro ano de funcionamento, uma grande parte dos troços apresenta já velocidades aceitáveis, com a excepção dos nós extremos como é habitual. Sendo ainda, de acordo com o regulamento, prever dispositivos de descarga nesses troços.

Como acontece nos cenários anteriores, ao longo do tempo, e com a população e capitação a aumentar, as velocidades da água na tubagem aumenta também, sendo cada vez menos os troços com velocidades de escoamento inferiores ao regulamentar.

Na Figura 7.11.1 visualiza-se o comportamento da rede, para o parâmetro velocidade, no ano horizonte, com adesão de 100%.

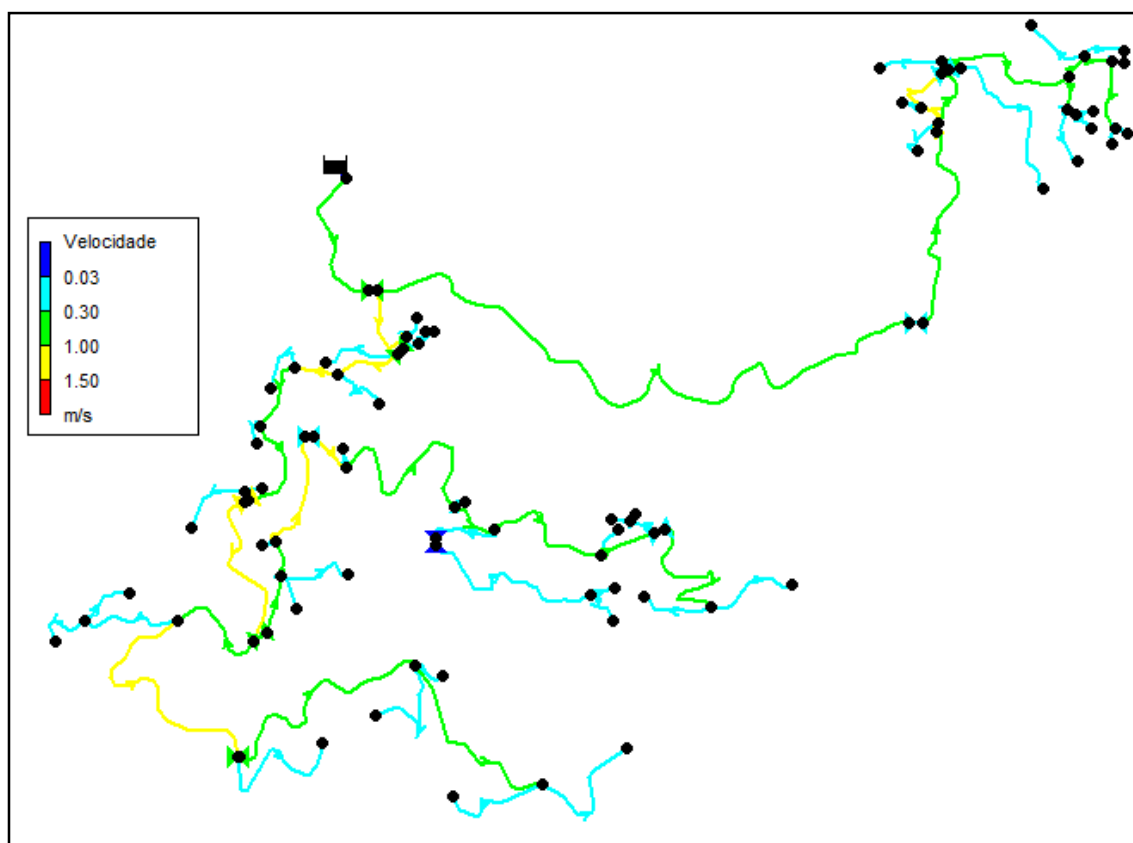


Figura 7.11.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 40 – 100% adesão

As velocidades nos troços maiores, são superiores ao valor mínimo regulamentar, registando-se até velocidades superiores a 1,0 m/s em grande parte dos troços principais. Nos troços mais pequenos, com menos habitações, as velocidades continuam a não atingir os valores mínimos, continuando a ser necessário a utilização de dispositivos de descarga.

7.11.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Como se referiu no Cenário 7, para as populações acima de 5.000 habitantes e com adesão de 100% não é necessária qualquer estação de rechloragem desde o início da exploração, tendo todos os nós e troços da rede, concentrações de cloro superiores a 0,20 mg/l.

O Quadro 7.11.1 apresenta os vários subcenários e a “não-evolução” do número de estações de recloragem.

Quadro 7.11.1 - Evolução do número de estações de recloragem ao longo do Cenário 10

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloragem
Cenário 10.1	6.982 Habitantes	Ano 1	100% Adesão	0
Cenário 10.2	7.368 Habitantes	Ano 5	100% Adesão	0
Cenário 10.3	7.815 Habitantes	Ano 10	100% Adesão	0
Cenário 10.4	8.226 Habitantes	Ano 15	100% Adesão	0
Cenário 10.5	8.605 Habitantes	Ano 20	100% Adesão	0
Cenário 10.6	8.955 Habitantes	Ano 25	100% Adesão	0
Cenário 10.7	9.281 Habitantes	Ano 30	100% Adesão	0
Cenário 10.8	9.583 Habitantes	Ano 35	100% Adesão	0
Cenário 10.9	10.000 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.12 CENÁRIO 11 – 10.000 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO

Como foi referido em 6.3, no Quadro 6.3.1 o Cenário 11 caracteriza-se por ter uma adesão de 20% no primeiro ano, aumentado este valor até atingir os 98% no ano 25 e os 100% no ano 40 (horizonte). A população no ano horizonte está também estimada em 10.000 habitantes como no Cenário 10.

Analogamente ao efectuado nos outros cenários, o primeiro passo foi efectuar a simulação dinâmica do primeiro subcenário, que é o correspondente ao primeiro ano de funcionamento da rede com uma adesão de 20%. Analisaram-se então os resultados obtidos para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.12.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Este cenário mantém-se praticamente inalterado em relação aos anteriores com este nível de adesão, no que diz respeito à velocidade de escoamento e funcionamento hidráulico da rede.

As velocidades da rede voltam a ser inferiores ao regulamentar na grande maioria da rede, mas como se pode ver na Figura 7.12.1, a maior parte dos troços está já marcada a azul-claro, o que indica que têm velocidades superiores aos 0,03 m/s.

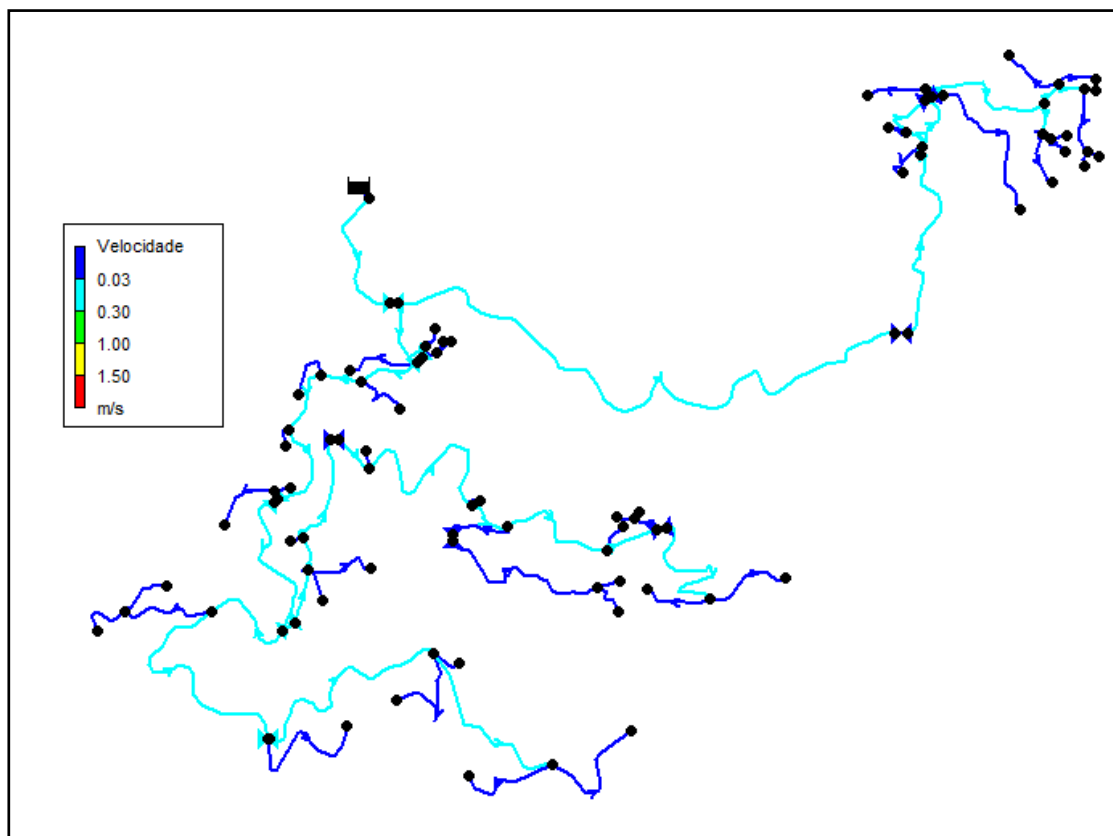


Figura 7.12.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 20% adesão

Ao longo do tempo e com a adesão a aumentar, este cenário aproxima-se do anterior, principalmente a partir do ano 25 de exploração em que a adesão considerada é de 98%, sendo que as velocidades no ano horizonte, serão exactamente as mesmas obtidas na Figura 7.11.1, já que ambos os cenários têm uma adesão de 100% no ano horizonte.

7.12.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Quanto à qualidade da água, analisada aqui pela concentração de cloro residual presente ao longo da rede, pode-se ver na Figura 7.12.2 que da mesma forma que acontecia no Cenário 8 (Figura 7.9.1), a concentração de cloro é já satisfatória em grande parte da rede, logo no primeiro ano de exploração.

É no entanto necessário instalar estações de rechloragem para que a restante rede usufrua de água com qualidade, sendo que nos primeiros anos de exploração, apenas são necessárias 3 estações de rechloragem, que estão assinaladas na Figura 7.12.3.

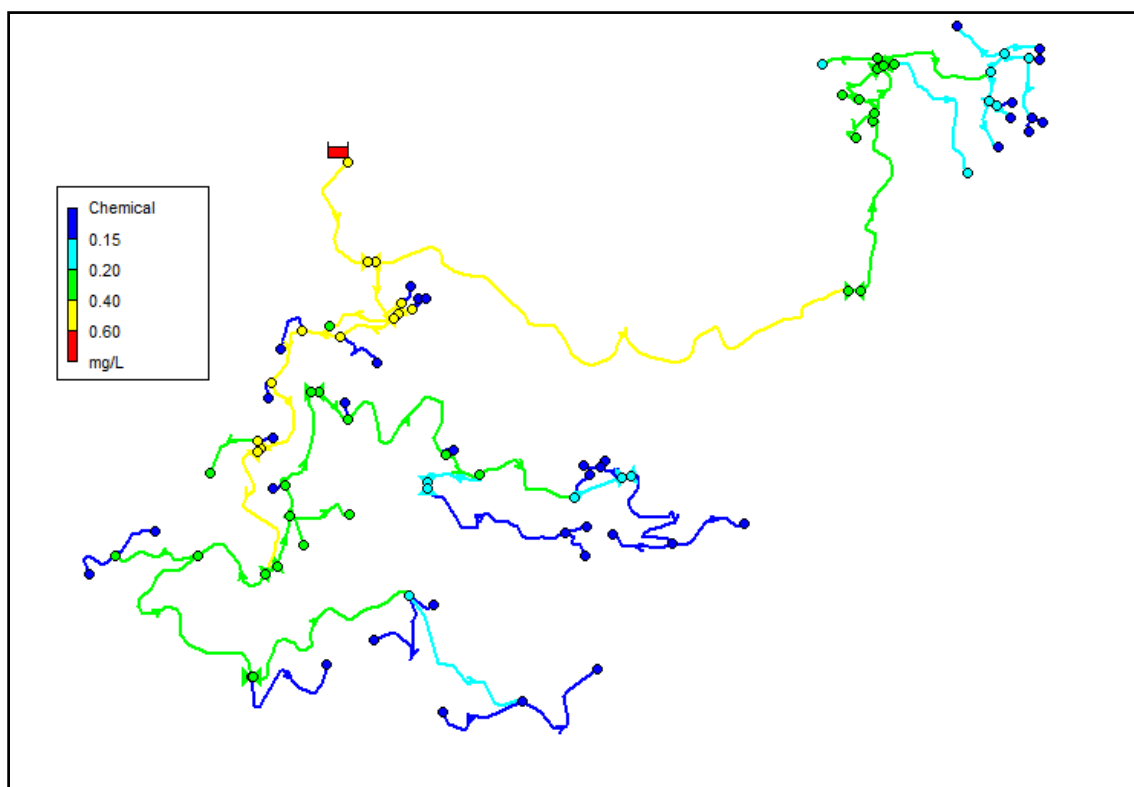


Figura 7.12.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%

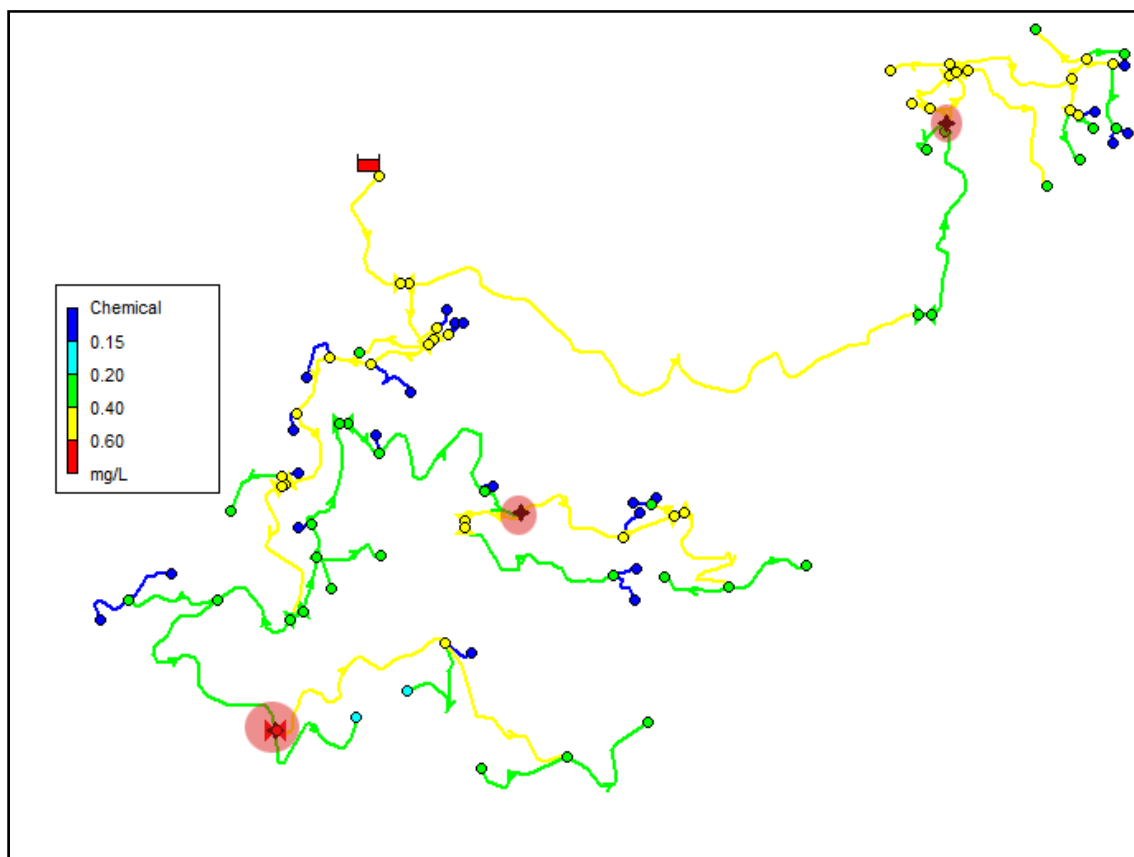


Figura 7.12.3 - Concentração de cloro residual na rede -20% de adesão - 3 estações de rechloragem

Mesmo com as três estações de rechloragem, existem ainda troços e nós marcados a azul-escuro, em que a concentração de cloro residual é 0,00 mg/l. Isto acontece porque com este nível de adesão, esses troços e nós não têm qualquer consumo, ou seja, considera-se que as poucas habitações existentes nesses pequenos troços, não aderiram à rede de abastecimento pública.

No Quadro 7.12.1 pode ver-se a evolução do número de estações de rechloragem deste cenário, ao longo da exploração.

Quadro 7.12.1 - Evolução do número de estações de rechloragem ao longo do Cenário 11

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Rechloragem
Cenário 11.1	6.982 Habitantes	Ano 1	20% Adesão	3
Cenário 11.2	7.368 Habitantes	Ano 5	40% Adesão	2
Cenário 11.3	7.815 Habitantes	Ano 10	60% Adesão	0
Cenário 11.4	8.226 Habitantes	Ano 15	75% Adesão	0
Cenário 11.5	8.605 Habitantes	Ano 20	85% Adesão	0
Cenário 11.6	8.955 Habitantes	Ano 25	98% Adesão	0
Cenário 11.7	9.281 Habitantes	Ano 30	99% Adesão	0
Cenário 11.8	9.583 Habitantes	Ano 35	99% Adesão	0
Cenário 11.9	10.000 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.13 CENÁRIO 12 – 10.000 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO

O Cenário 12 caracteriza-se por ter 10.000 habitantes no ano horizonte de projecto, e uma adesão de 15% no primeiro ano, aumentando lentamente até aos 81% de adesão no ano 40.

7.13.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

A simulação do primeiro subcenário, não trás nada de novo no que respeita aos parâmetros hidráulicos em estudo, nomeadamente a velocidade do escoamento e a pressão nos nós.

As velocidades tal como vem sendo habitual, mantêm-se baixo dos limites regulamentares, aumentando consideravelmente com o decorrer dos anos, devido ao acréscimo de captações e da própria adesão, contudo, mantendo-se sempre abaixo das registadas no cenário anterior para o mesmo ano de exploração.

7.13.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

No primeiro ano de exploração, a concentração de cloro residual nos nós e troços da rede, é inferior à obtida no cenário anterior, devido à menor adesão e menor velocidade.

Na Figura 7.13.1 pode-se visualizar a concentração de cloro residual em todos a rede.

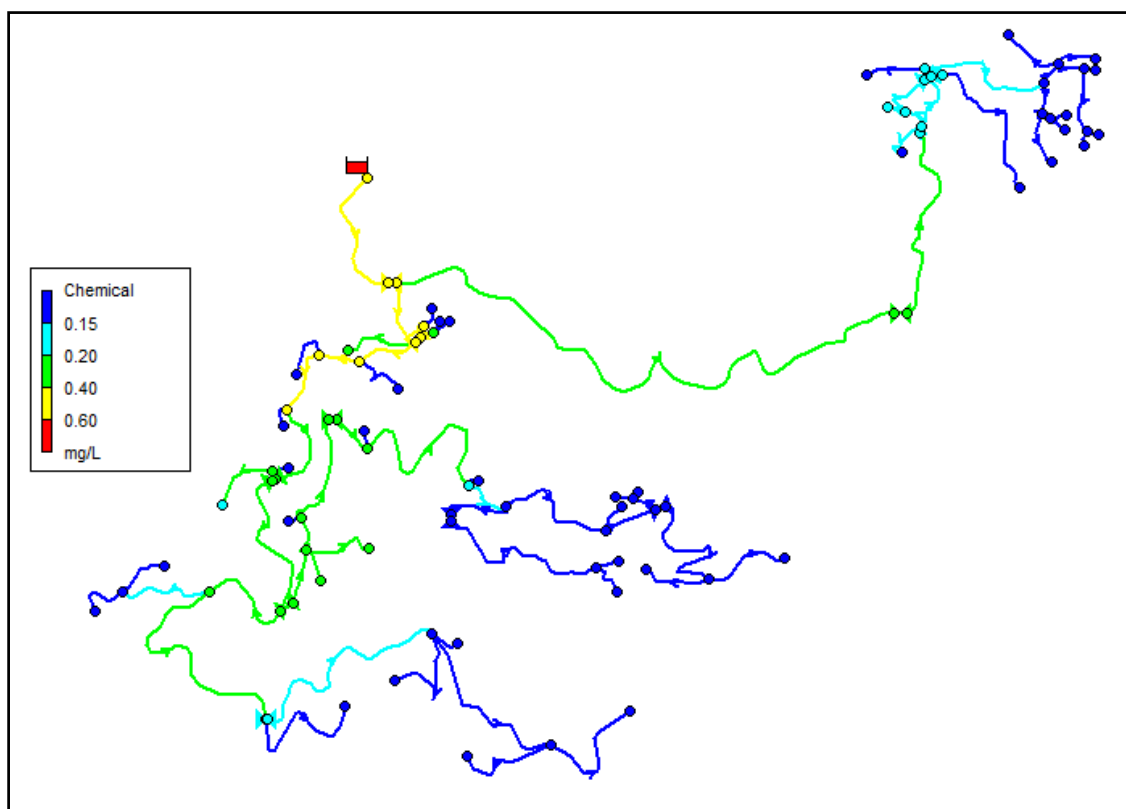


Figura 7.13.1 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 15%

Comparando com o cenário anterior (Figura 7.12.2), vê-se claramente que existe um maior número de trechos marcados a azul, o que quer dizer que são necessárias mais estações de reclusagem no primeiro ano. O Quadro 7.13.1 mostra a evolução do número de estações de reclusagem deste cenário ao longo do tempo.

Quadro 7.13.1 - Evolução do número de estações de reclusagem ao longo do Cenário 12

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Reclusagem
Cenário 12.1	6.982 Habitantes	Ano 1	15% Adesão	4
Cenário 12.2	7.368 Habitantes	Ano 5	25% Adesão	3
Cenário 12.3	7.815 Habitantes	Ano 10	41% Adesão	1
Cenário 12.4	8.226 Habitantes	Ano 15	55% Adesão	0
Cenário 12.5	8.605 Habitantes	Ano 20	67% Adesão	0
Cenário 12.6	8.955 Habitantes	Ano 25	75% Adesão	0
Cenário 12.7	9.281 Habitantes	Ano 30	77% Adesão	0
Cenário 12.8	9.583 Habitantes	Ano 35	79% Adesão	0
Cenário 12.9	10.000 Habitantes	Ano 40	81% Adesão	0

7.14 CENÁRIO 13 – 25.000 HABITANTES - 100% DE ADESÃO 1º ANO

Como foi referido em 6.3, no Quadro 6.3.1, o cenário 13 caracteriza-se por ter uma adesão de 100% logo no primeiro ano, mantendo-se este valor de adesão constante ao longo do tempo até ao ano horizonte. A população no ano horizonte está estimada em 25.000 habitantes, sendo que um aumento tão significativo na população se deve ao interesse que tem avaliar o efeito de escala no nosso estudo.

Como será o funcionamento da mesma rede (com alterações de diâmetros sempre que necessário), para uma população 10 vezes superior à população real?

Ao executar a simulação deste cenário, o EPANET não encontra nenhum erro, podendo-se então analisar os eventuais problemas que ocorram.

Começou-se por efectuar a simulação dinâmica do primeiro subcenário, que é o correspondente ao primeiro ano de funcionamento da rede.

Analysaram-se então os resultados obtidos para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.14.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Na Figura 7.14.1 pode-se ver a velocidade do escoamento nos troços da rede.

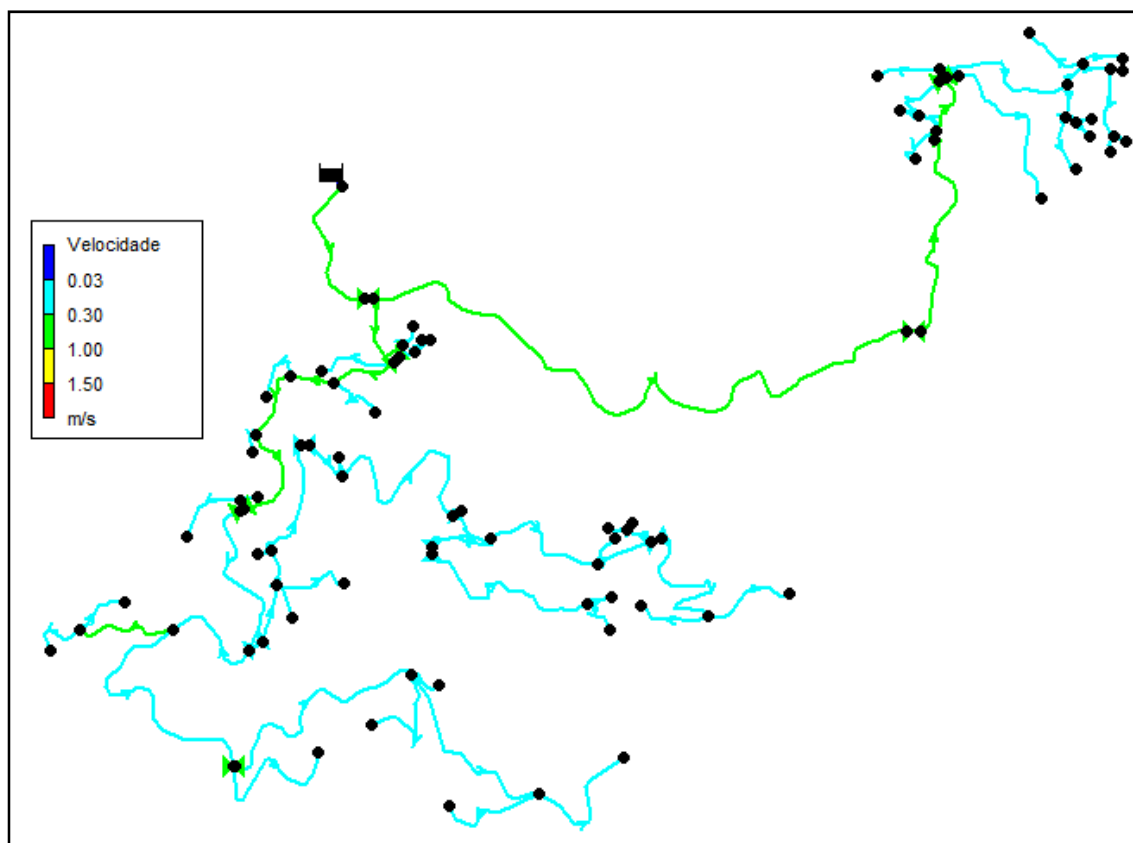


Figura 7.14.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 100% adesão

Este é o primeiro cenário analisado em que todos os troços da rede têm velocidade superior a 0,03 m/s, no primeiro ano de exploração, ainda assim, as velocidades de ponta são inferiores a 0,30 m/s, pelo que o regulamento recomenda a instalação de dispositivos de descarga.

Ao longo dos anos a velocidade de escoamento nas condutas aumenta, sendo que no ano horizonte a maioria das condutas tem já velocidade superior ao mínimo recomendado, como se pode ver na Figura 7.14.2 (troços marcados a vermelho).

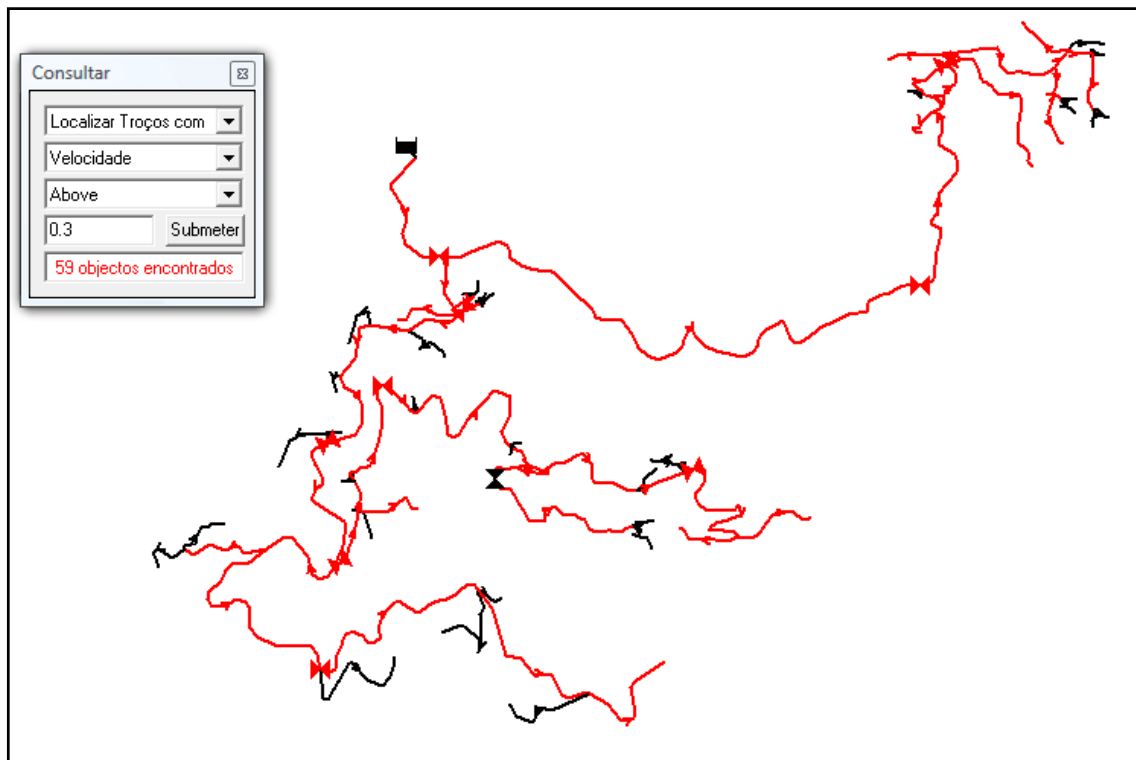


Figura 7.14.2 - Troços da rede com velocidade superior a 0,30 m/s - ano 40

7.14.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Quanto à concentração de cloro residual ao longo da rede, como era de esperar este cenário não apresenta qualquer problema, não sendo necessário recorrer a nenhuma estação de rechloragem desde o início da exploração.

Como se pode ver na Figura 7.14.3, todos os nós e troços da rede estão marcados a amarelo e verde, o que indica que a concentração de residual de cloro se encontra entre os 0,20 mg/l e os 0,60 mg/l em toda a rede.

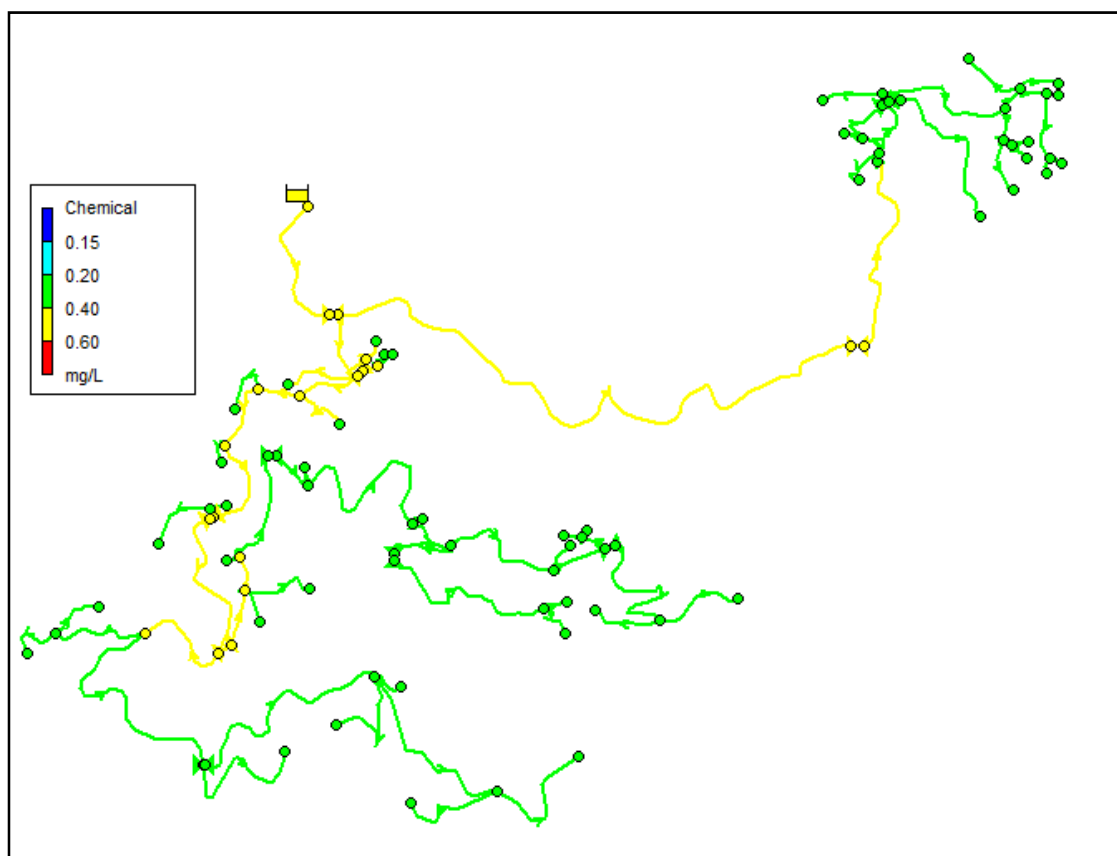


Figura 7.14.3 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 100%

No Quadro 7.14.1 pode-se ver que não existe nenhuma necessidade de estações de rechloragem neste cenário.

Quadro 7.14.1 - Evolução do número de estações de rechloragem ao longo do Cenário 13

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Rechloragem
Cenário 13.1	17.455 Habitantes	Ano 1	100% Adesão	0
Cenário 13.2	18.421 Habitantes	Ano 5	100% Adesão	0
Cenário 13.3	19.538 Habitantes	Ano 10	100% Adesão	0
Cenário 13.4	20.565 Habitantes	Ano 15	100% Adesão	0
Cenário 13.5	21.512 Habitantes	Ano 20	100% Adesão	0
Cenário 13.6	22.388 Habitantes	Ano 25	100% Adesão	0
Cenário 13.7	23.201 Habitantes	Ano 30	100% Adesão	0
Cenário 13.8	23.958 Habitantes	Ano 35	100% Adesão	0
Cenário 13.9	25.000 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.15 CENÁRIO 14 – 25.000 HABITANTES - 20% DE ADESÃO 1º ANO

O Cenário 14 tem uma população estimada de 25.000 habitantes no ano horizonte, e uma adesão que vai aumentando dos 20% no primeiro ano até aos 100% no ano horizonte.

7.15.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

Como habitual, começou-se por simular o primeiro subcenário, que corresponde ao primeiro ano de funcionamento da rede, com uma adesão de 20%.

O EPANET, não apresenta qualquer erro durante a simulação, o que nos leva a concluir que o sistema se encontra em equilíbrio.

Quanto ao parâmetro velocidade, como seria de esperar, no primeiro ano e apenas com adesão de 20% a velocidade de escoamento na rede é muito baixa como se vê na Figura 7.15.1.

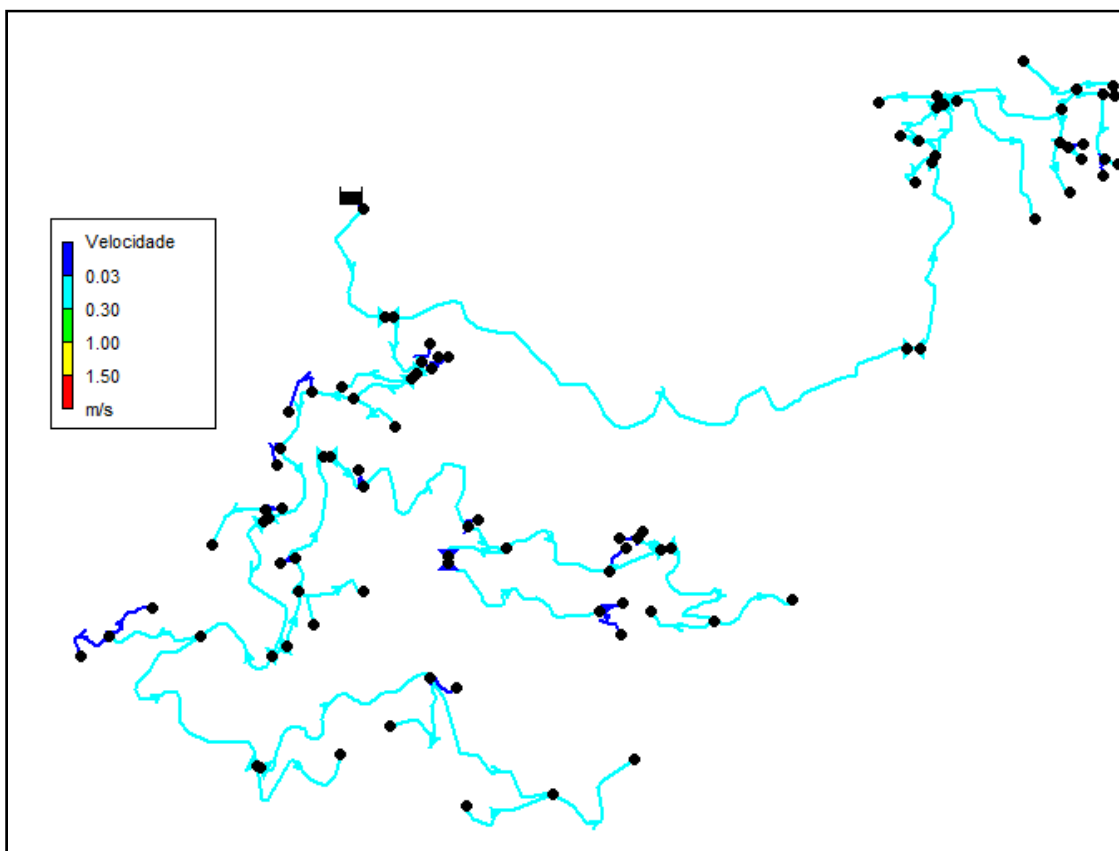


Figura 7.15.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 20% adesão

Com o decorrer dos anos e o aumento da adesão, este cenário aproxima-se do anterior, sendo que as velocidades de escoamento na rede no ano 20 de exploração podem ser vistas na Figura 7.15.2.

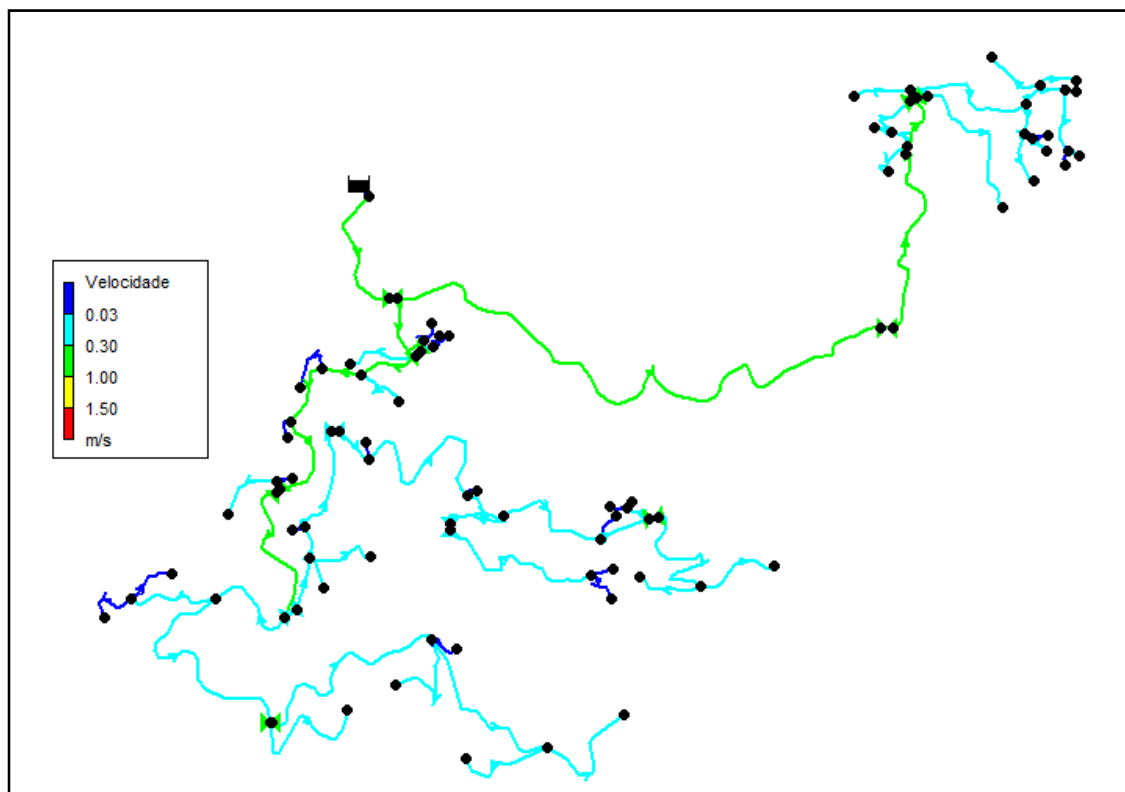


Figura 7.15.2 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 20 – 85% adesão

No ano 20 de exploração, uma parte da rede já tem velocidades superiores ao mínimo recomendável, e no ano 40, ano horizonte de projecto, como se pode ver na Figura 7.14.2, referente ao cenário anterior, poucos são os troços com velocidade de escoamento inferior a 0,30 m/s.

7.15.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Pode-se ver na Figura 7.15.3 a concentração de cloro residual em todos os troços e nós da rede.

Tirando duas zonas marcadas a azul, o resto da rede já se encontra marcada a amarelo e verde, o que indica, que a concentração de cloro nesses troços e nós é superior aos 0,20 mg/l considerados satisfatórios.

Ainda assim, é necessária a instalação de duas estações de rechloragem para que as duas zonas marcadas a azul passem a dispor de água com a protecção dada pelo desinfectante.

Na Figura 7.15.4, pode analisar-se em pormenor a concentração de cloro residual de um nó marcado azul, nomeadamente o nó 73, que é normalmente utilizado, de forma a ser possível comparar com os valores obtidos noutros cenários.

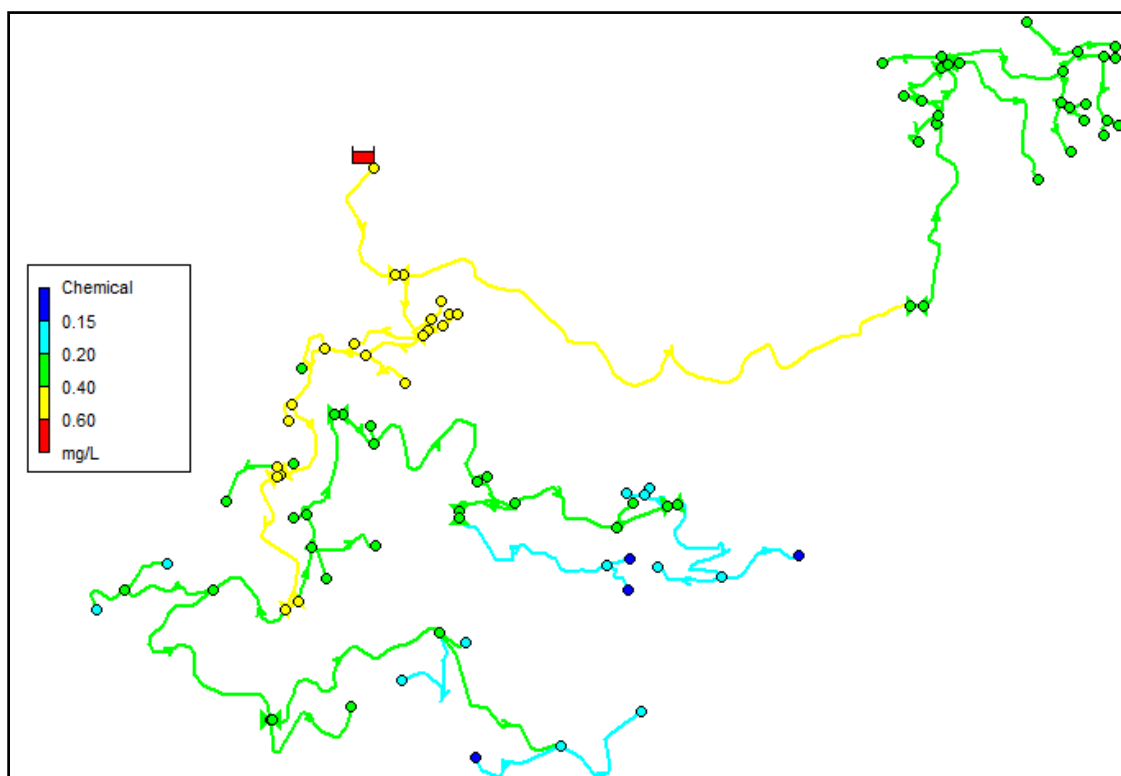


Figura 7.15.3 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 20%

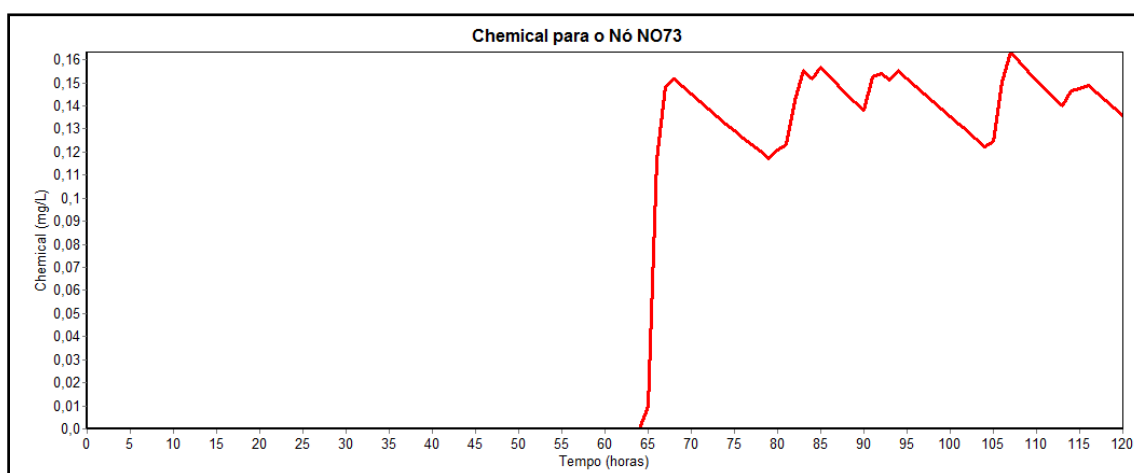


Figura 7.15.4 - Variação da concentração do cloro residual no nó 73 - ano 1

No Quadro 7.15.1 está evidenciada a evolução do número de estações de recloração necessárias neste cenário ao longo dos 40 anos de exploração.

Quadro 7.15.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do Cenário 14

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloração
Cenário 14.1	17.455 Habitantes	Ano 1	20% Adesão	2
Cenário 14.2	18.421 Habitantes	Ano 5	40% Adesão	0
Cenário 14.3	19.538 Habitantes	Ano 10	60% Adesão	0
Cenário 14.4	20.565 Habitantes	Ano 15	75% Adesão	0
Cenário 14.5	21.512 Habitantes	Ano 20	85% Adesão	0
Cenário 14.6	22.388 Habitantes	Ano 25	98% Adesão	0
Cenário 14.7	23.201 Habitantes	Ano 30	99% Adesão	0
Cenário 14.8	23.958 Habitantes	Ano 35	99% Adesão	0
Cenário 14.9	25.000 Habitantes	Ano 40	100% Adesão	0

7.16 CENÁRIO 15 – 25.000 HABITANTES - 15% DE ADESÃO 1º ANO

O Cenário 15 caracteriza-se, por ter uma adesão de 15% no primeiro ano, aumentado este valor lentamente até atingir os 81% no ano 40. A população no ano horizonte está estimada em 25.000 habitantes. Em seguida apresentam-se as conclusões obtidas para as características hidráulicas do escoamento e para a qualidade da água.

7.16.1 IMPLICAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO ESCOAMENTO

A simulação do primeiro subcenário (15.1), que corresponde ao primeiro ano de funcionamento da rede com uma adesão de 15%, não apresenta qualquer erro, o que nos leva a concluir que o sistema se encontra em equilíbrio.

Quanto ao parâmetro velocidade, como seria de esperar, no primeiro ano e apenas com adesão de 15% a velocidade de escoamento na rede é muito baixa, sendo os resultados ligeiramente piores que os obtidos no cenário anterior quando a adesão era de 20%.

Na figura pode-se ver a velocidades de escoamento, de todos os troços da rede, no primeiro ano de exploração, e quando comparada com as velocidades obtidas na Figura 7.15.1, claramente se percebe que existe um maior número de condutas com velocidades abaixo de 0,03 m/s neste cenário.

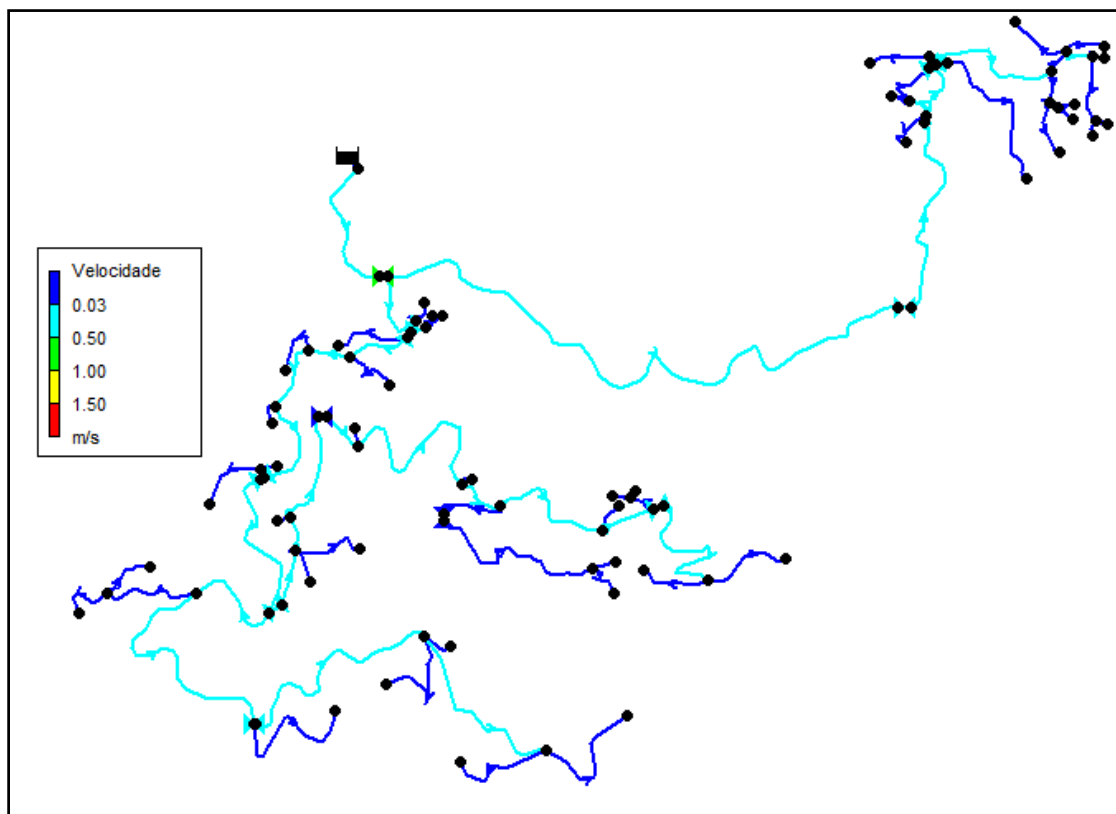


Figura 7.16.1 - Velocidade na rede na hora de maior consumo – ano 1 – 15% adesão

Com o decorrer do tempo, as velocidades na rede aumentam, mas mantendo-se ligeiramente abaixo das que ocorrem no cenário anterior, devido ao menor grau de adesão.

7.16.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Quanto à qualidade da água, como se pode ver na Figura 7.16.2, referente ao primeiro ano de exploração, existem algumas zonas com troços marcados a azul que indicam que a concentração de cloro nesses troços é insuficiente.

Comparando a Figura 7.16.2 com a Figura 7.15.3, claramente se percebe que a diminuição de 5% de adesão de um caso para o outro tem consequências perceptíveis em termos de concentração de cloro residual.

No caso deste subcenário, para suprimir a deficiência de concentração de cloro residual em todos os troços com consumos, vão ser necessárias 4 estações de rechloragem.

No Quadro 7.16.1 pode ver-se a evolução das necessidades de estações de rechloragem ao longo do tempo de exploração.

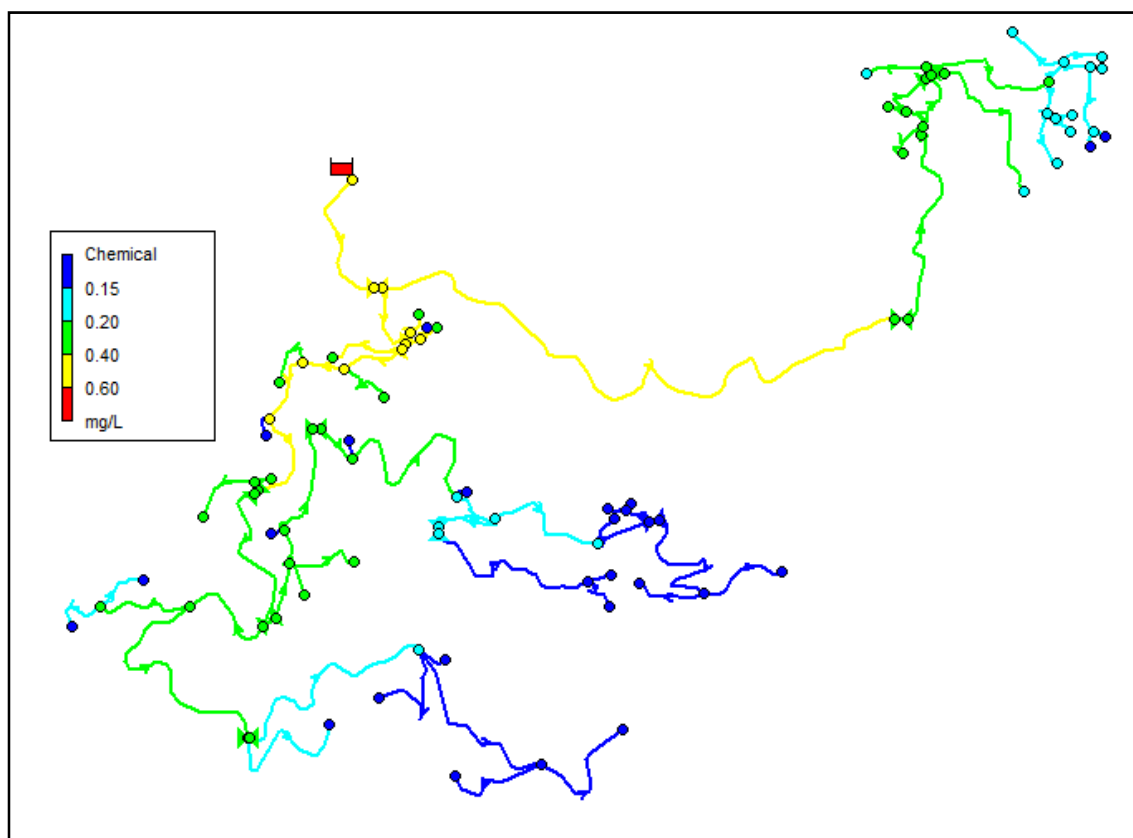


Figura 7.16.2 - Concentração de cloro residual na rede - ano 1 – adesão 15%

Quadro 7.16.1 - Evolução do número de estações de recloração ao longo do Cenário 15

Nome Cenário	Habitantes	Ano	Adesão	Estações de Recloração
Cenário 15.1	17.455 Habitantes	Ano 1	15% Adesão	4
Cenário 15.2	18.421 Habitantes	Ano 5	25% Adesão	2
Cenário 15.3	19.538 Habitantes	Ano 10	41% Adesão	0
Cenário 15.4	20.565 Habitantes	Ano 15	55% Adesão	0
Cenário 15.5	21.512 Habitantes	Ano 20	67% Adesão	0
Cenário 15.6	22.388 Habitantes	Ano 25	75% Adesão	0
Cenário 15.7	23.201 Habitantes	Ano 30	77% Adesão	0
Cenário 15.8	23.958 Habitantes	Ano 35	79% Adesão	0
Cenário 15.9	25.000 Habitantes	Ano 40	81% Adesão	0

8

ANÁLISE DOS CUSTOS DE INSTALAÇÃO E EXPLORAÇÃO DA REDE

8.1 GENERALIDADES

A construção de uma rede de distribuição de água do tipo da analisada no presente trabalho envolve muitas despesas, tanto a nível de custos de instalação ou de investimento iniciais, como de exploração.

Os custos de instalação ou de investimento mais relevantes são as obras de construção civil e equipamentos necessários. Em relação a estes custos existem vários factores a ter e conta como, manutenção dos equipamentos e gastos com funcionários, por exemplo.

Segue-se uma lista que serviu de orientação para elaboração do mapa de medições e orçamentos das propostas apresentadas.

8.2 CUSTOS DE INSTALAÇÃO

8.2.1 TRABALHOS PREPARATÓRIOS

Neste capítulo incluem-se os trabalhos prévios que devem ser considerados de forma a encetar as obras de construção civil.

- ❖ Sinalização provisória dos trabalhos, designadamente placas indicadoras de empreitada, incluindo fornecimento, colocação e manutenção.
- ❖ Conservação, durante o prazo da empreitada, em adequadas condições de circulação, de trajectos existentes e dos itinerários de desvio de tráfego, bem como zonas de circulação pedonal (incluindo passadiços, vedações de protecção, etc...).
- ❖ Montagem e desmontagem do estaleiro da empreitada, incluindo limpeza da área circundante. Placard nas medidas regulamentares com as características da obra e entidades intervenientes, a instalar em local bem visível, a designar.

8.2.2 ABERTURA E TAPAMENTO DE VALAS

Este capítulo refere-se também às obras de construção civil, tendo os volumes sido calculados de acordo com as disposições regulamentares do Decreto Regulamentar 23/95:

$$\text{❖ Largura da vala: } L_{\text{vala}} = \begin{cases} D_{\text{ext}} + 0,50, & \text{se } D_{\text{ext}} \leq 500 \text{ mm} \\ D_{\text{ext}} + 0,70, & \text{se } D_{\text{ext}} > 500 \text{ mm} \end{cases}$$

- ❖ Profundidade da vala: $\text{Prof}_{\text{vala}} = 0,80 + D_{\text{ext}} + 0,20$
- ❖ Levantamento e reposição de pavimento em betuminoso, incluindo escolha e arrumação dos materiais.
- ❖ Movimento de terras, incluindo regularização dos fundos das valas e aterro.
- ❖ Transporte dos produtos sobranes, a depósito, incluindo carga, descarga e regularização.

8.2.3 EQUIPAMENTO

Este capítulo inclui todo o equipamento necessário ao bom funcionamento de uma rede de distribuição, nomeadamente diversos tipos de válvulas e acessórios, como por exemplo:

- ❖ Válvulas de seccionamento PN10 do tipo borboleta e de actuação manual.
- ❖ Válvulas de retenção PN10 de batente e de actuação manual, incluindo montagem e instalações eléctricas.
- ❖ Válvulas redutoras de pressão PN10 (AVK), incluindo montagem e instalações eléctricas.
- ❖ Válvulas de seccionamento do tipo borboleta PN10, para funcionarem como purgas.
- ❖ Bomba doseadora apropriada para hipoclorito de sódio.
- ❖ Sistemas de comando, controlo e automatismos para bomba doseadora.
- ❖ Tubos de injeção de reagente

8.2.4 TUBAGEM E ACESSÓRIOS

Este capítulo refere-se ao fornecimento e assentamento de condutas de PEAD PE100 PN10 incluindo uma estimativa referente a eventuais acessórios.

8.2.5 RESERVATÓRIOS

Este capítulo refere-se ao sistema de armazenamento.

- ❖ Construção do reservatório em betão incluindo pintura interior de protecção

8.3 CUSTOS DE EXPLORAÇÃO

Os custos de exploração serão divididos em várias parcelas, nomeadamente:

- ❖ Encargos com Pessoal;
- ❖ Manutenção de equipamentos e acessórios.
- ❖ Custos com manutenção da qualidade da água
- ❖ Despesas de representação diversas

Passando agora a uma breve explicação acerca das opções tomadas para cada uma das parcelas acima citadas, considerou-se então:

8.3.1 ENCARGOS COM PESSOAL

O pessoal necessário integra fundamentalmente técnicos de manutenção, para o caso de ocorrência de algum problema durante o funcionamento normal da rede. Estimaram-se que devem ser necessários 2 funcionários técnicos/operadores, um piquete de emergência, um técnico superior responsável, um técnico de qualidade e ainda de um funcionário de apoio com tarefas administrativas.

O vencimento dos operadores de acordo com o habitual em entidades gestoras deste tipo de infra-estruturas será de 750€ mensais líquidos ($750\text{€/mês} \times 11 \text{ meses/ano} = 8.250\text{€/ano}$), contando ainda com os encargos sociais, estimados em 3 510 €/ano, que se discriminam no Quadro 8.3.1:

Quadro 8.3.1 – Encargos sociais com um funcionário

1 mês de Férias	750 €
1 mês de subsídio de Férias	750 €
1 mês de subsídio de Natal	750 €
Subsídio de refeição (4 €/refeição × 22 dias × 11 meses)	968 €
Seguro de acidentes de trabalho (obrigatório)	100 €
Contribuição da entidade patronal para a segurança social (25,6%)	192 €
TOTAL	3.510 €

Logo, os encargos anuais com cada operador serão de $8.250€ + 3.510€ = 11760€/ano$.

Quanto ao piquete de emergência, supôs-se que este seja contratado em conjunto com as restantes redes da zona. Sendo o custo anual associado ao piquete de 6.144€.

Os técnicos superiores prestam um serviço de supervisão, sendo responsáveis pelo bom funcionamento da rede, tanto a nível hidráulico como de qualidade da água.

Considerou-se um vencimento mensal de 2.500€ para o técnico superior responsável, em que se atribuiu um tempo de funções de cerca de 10% do tempo total de trabalho, logo, o custo mensal para o sistema em estudo seria de 250€, excluindo encargos.

Procedeu-se da mesma forma para o técnico superior, responsável pela qualidade da água abastecida, sendo que pela mesma tabela salarial, se considera um vencimento de 2.000€/mês, e um exercício de funções de funções de 20%, o que significa um custo de 400€/mês, excluindo encargos.

De referir ainda que se aplicou um aumento salarial de 3% por ano, de acordo com o que se considerou ser a taxa de actualização.

8.3.2 MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS

Todos os materiais sofrem desgaste com o uso e tempo, necessitando assim de manutenção e reparação (acessórios, revestimento dos reservatórios, etc.). Considerámos uma percentagem de 1% do custo de instalação para manutenção, aumentando anualmente esse valor em 3% ao longo do tempo de exploração.

8.3.3 QUALIDADE DA ÁGUA

Existem várias despesas inerentes ao controlo da qualidade da água. Desde as análises que são necessárias efectuar, até ao custo dos reagentes para as estações de recloragem.

Assim, e de acordo com o Decreto de Lei N°306/2007 a frequência mínima de amostragem da água destinada para consumo humano fornecida por uma entidade gestora em alta, pode ser vista no Quadro 8.3.2.

Quadro 8.3.2 - Frequência mínima de amostragem e análise de água. (adaptado do DL N°306/2007)

Volume de água fornecida em alta (m ³ por dia)	Tipos de controlo da água para consumo humano		
	Controlo de Rotina 1	Controlo de Rotina 2	Controlo de Inspeção
≤250	2	2	1
>250 e ≤1.000	6	2	1
>1.000 e ≤2.000	12	4	1
>2.000 e ≤5.000	18	6	1
>5.000 e ≤15.000	24	8	2

Sendo que o preço unitário de cada tipo de controlo o seguinte:

- ❖ Controlo de Rotina 1 – 7,51€
- ❖ Controlo de Rotina 2 – 55,56€
- ❖ Controlo de Inspeção – 352,54€

O custo total dos controlos de qualidade da água é diferente, dependendo do volume de água abastecida em cada um dos cenários, variando entre os 508€ e os 821€ mensais.

8.3.4 DESPESAS DE REPRESENTAÇÃO DIVERSAS

Aqui estão incluídas despesas referentes ao escritório que servirá de sede, assim como um pequeno armazém/garagem, com não menos de 100 m², para armazenamento de algum material de uso frequente.

É também necessário contabilizar os custos com uma viatura do género “pick-up”, adquirida em sistema de *leasing*, com um custo mensal de 480€, incluindo 2 jogos de pneus e seguro. Não esquecendo o consumo (estima-se uma média de 2000 km's por mês), o total do custo do veículo rondaria os 733€ mensais.

Analogamente, considerou-se um aumento destas despesas em 3% ao ano, para ter em conta a taxa de actualização.

9

EFEITOS NO PREÇO DE VENDA DE ÁGUA AOS CONSUMIDORES

9.1 GENERALIDADES

Actualmente as redes de abastecimento de água podem ser exploradas e geridas por empresas públicas ou privadas.

Uma empresa privada terá, em princípio, mais atenção aos lucros que poderá obter da exploração de uma rede deste género, sendo que esse lucro não será a principal preocupação das entidades públicas, embora também não seja de descurar.

Assim, é muito importante, para qualquer investidor, ter uma estimativa de quanto será o tempo de retorno do seu investimento, ou o que poderá acontecer se as coisas não correrem conforme o que foi planeado.

Os vários cenários acarretam diferentes custos de instalação, devido aos diferentes em termos de diâmetros de tubagem, escavações, maior ou menor necessidade de estações de rechloragem, etc.

Os custos de exploração também serão diferentes, de cenário para cenário, com custos de manutenção mais elevados, número de análises de água efectuadas, reagente gasto nas estações de rechloragem, etc.

Neste capítulo, pretende-se demonstrar que quanto menor for a população a servir, e menor taxa de adesão, maior será o custo da água para a entidade gestora.

9.2 CUSTOS DE INVESTIMENTO

No ponto 8.2 foram descritos os maiores contribuintes para os custos de investimento da rede de distribuição em estudo. Como foi mencionado, esses custos variam de cenário para cenário, sendo essa variação particularmente relevante quando se analisa cenários com diferentes populações no ano horizonte de projecto.

O Cenário 1 e o Cenário 2, por exemplo, têm custos de instalação muito próximos, pois a população no ano horizonte é a mesma, variando apenas a taxa de adesão ao longo do tempo. A única diferença em termos de custos de instalação decorre do facto de, no Cenário 1, apenas são necessárias 2 estações de rechloragem e, no Cenário 2, já são necessárias 7. Já o Cenário 3 tem um custo de instalação igual ao do Cenário 2, pois são utilizadas as mesmas 7 estações de rechloragem.

No Quadro 9.2.1 apresentam-se os diferentes custos de investimento para cada cenário, No Anexo I, estão alguns exemplos dos orçamentos utilizados para chegar a estes valores.

Quadro 9.2.1 - Comparação dos custos de instalação em cada cenário

População ano Horizonte	Cenário	Custo de Instalação (€)
2.500	Cenário 1	1.671.711 €
	Cenário 2	1.691.211 €
	Cenário 3	1.691.211 €
5.000	Cenário 4	1.948.159 €
	Cenário 5	1.967.659 €
	Cenário 6	1.967.659 €
7.500	Cenário 7	2.166.448 €
	Cenário 8	2.182.048 €
	Cenário 9	2.185.948 €
10.000	Cenário 10	2.420.668 €
	Cenário 11	2.432.368 €
	Cenário 12	2.436.268 €
25.000	Cenário 13	3.836.340 €
	Cenário 14	3.844.140 €
	Cenário 15	3.851.940 €

Como se pode concluir, o aumento da população, não faz com que os custos de instalação cresçam na mesma proporção, numa rede com estas características, deixando bem claro que o efeito de escala favorece as maiores populações, ou, maior densidade populacional.

Este investimento é efectuado com recurso a financiamento bancário, cujo pagamento se processará ao longo dos 40 anos de exploração. Optou-se por uma solução de prestação anual constante, com juros decrescentes, por ser a opção em que se pagaria menor valor total de juros, em virtude de maior abatimento de capital nos primeiros anos de actividade, sendo que outra opção seria negociar com a entidade bancária uma prestação fixa ao longo do tempo de empréstimo, deixando a cargo de técnicos da área a discussão sobre a melhor opção.

No estudo em causa foi considerado uma taxa de juro financeira de 5%.

9.3 CUSTOS DE EXPLORAÇÃO

Como se conclui em 8.3, os custos de exploração dividem-se principalmente em encargos com funcionários, manutenção, despesas com controlo de qualidade e despesas de representação.

Essas despesas são relativamente constantes a todos os cenários, sendo que os mais populosos, têm um maior número de análises de qualidade e um maior custo de manutenção associado.

Assim, por exemplo, para o Cenário 1, no primeiro ano de exploração, temos:

- ❖ Manutenção – 16.717€
- ❖ Funcionários – 51.602€

- ❖ Controlo de Qualidade – 6.105€
- ❖ Despesas de Representação – 8.796€

O que perfaz um total de 83.219€.

Considerou-se que todas estas despesas aumentam em 3% ao ano, ao longo da exploração, sendo essa a taxa de actualização de dinheiro usada.

A taxa de adesão não influencia significativamente os custos de exploração, uma vez que, o único parâmetro que altera é o controlo de qualidade, nalguns casos, em que passa a ser obrigatório proceder a um maior número de análises devido à subida no escalão (Quadro 8.3.2).

No Quadro 9.3.1 pode-se ver as diferenças de custos de exploração dos vários cenários, no primeiro ano de exploração.

Quadro 9.3.1 - Custos de Exploração no primeiro ano de funcionamento

População ano Horizonte	Cenário	Custo de Exploração (€)
2.500	Cenário 1	83.219 €
	Cenário 2	83.219 €
	Cenário 3	83.219 €
5.000	Cenário 4	85.984 €
	Cenário 5	85.984 €
	Cenário 6	85.984 €
7.500	Cenário 7	88.167 €
	Cenário 8	88.167 €
	Cenário 9	88.167 €
10.000	Cenário 10	92.583 €
	Cenário 11	92.583 €
	Cenário 12	92.583 €
25.000	Cenário 13	108.614 €
	Cenário 14	108.614 €
	Cenário 15	108.614 €

Considerou-se, por simplificação, que nos cenários com a mesma população no ano horizonte os custos de exploração são idênticos, pois o acréscimo de estações de rechloragem nos cenários com baixa adesão é compensado pelos baixos caudais que são necessários “reclorar”, em comparação com os cenários com adesão 100%, sendo que o nível de precisão que adviria de considerar cada estação de rechloragem não faz sentido no âmbito do trabalho.

9.4 CUSTO DE AQUISIÇÃO DA ÁGUA

Para se abastecer a rede com água de qualidade é necessário adquiri-la em primeiro lugar.

Optou-se por considerar que a água seria comprada a uma empresa de distribuição em alta, sendo a qualidade inicial da mesma, uma responsabilidade dessa entidade.

O preço adoptado foi de 0,40 € por m³ de água tratada, no primeiro ano de exploração, valor este actualizado em 3% ao ano, sendo que no ano horizonte o preço de aquisição seria já de 1,27€ por m³, sendo difícil de prever se esse valor será ou não realista.

Os custos com a aquisição da água variam consideravelmente com os cenários estudados devido às diferentes taxas de adesão ao longo do tempo.

Se, por exemplo, no Cenário 1, se considera que o custo de aquisição de água é de X, no primeiro ano de exploração, e de $X \times 1,03$, no 2º ano, já no Cenário 2, o custo do primeiro ano de exploração, será de Y, com 20% de adesão, e no 2º ano, já terá que se ter em conta o aumento da adesão para 40%, assim como o aumento unitário do custo do m³ de água.

No Quadro 9.4.1 apresentam-se os valores do custo de aquisição de água, para cada cenário, no primeiro ano de exploração, e o total estimado dos 40 anos de funcionamento. Esta também incluído o custo da água comprada e se perde sem ser efectivamente vendida, admitindo-se como exemplo uma percentagem de perda de 20% da água comprada por ano.

Quadro 9.4.1 - Comparação dos custos de aquisição de água com perdas incluídas

População ano Horizonte	Cenário	Custo de Aquisição da água	
		Ano 1	Total 40 anos
2.500	Cenário 1	33.638 €	3.926.937 €
	Cenário 2	6.728 €	3.466.462 €
	Cenário 3	5.046 €	2.685.643 €
5.000	Cenário 4	67.978 €	7.929.892 €
	Cenário 5	13.596 €	6.999.688 €
	Cenário 6	10.197 €	5.422.963 €
7.500	Cenário 7	101.966 €	11.898.700 €
	Cenário 8	20.393 €	10.503.167 €
	Cenário 9	15.295 €	8.137.294 €
10.000	Cenário 10	134.552 €	15.707.748 €
	Cenário 11	26.912 €	13.865.848 €
	Cenário 12	20.184 €	10.742.572 €
25.000	Cenário 13	336.559 €	39.259.407 €
	Cenário 14	67.312 €	34.654.040 €
	Cenário 15	50.484 €	26.847.981 €

Os custos com aquisição de água são sempre mais elevados nos cenários com 100% de adesão como seria de esperar, e vão aumentando com o acréscimo da população.

9.5 TOTAL DE CUSTOS ANUAL

O custo total anual é diferente para cada um dos cenários, já que comporta o pagamento do empréstimo bancário referente aos custos de instalação, os custos de exploração e os custos de aquisição da água.

Da mesma forma que todos as parcelas referidas vão variando com o decorrer dos anos, também o total varia, apresentando-se no Quadro 9.5.1 os custos totais para o primeiro ano de exploração de cada cenário e também os custos totais ao longo dos 40 anos analisados.

Quadro 9.5.1 - Comparação dos custos totais nos vários cenários

População ano Horizonte	Cenário	Custo Total	
		Ano 1	Total 40 anos
2.500	Cenário 1	242.236 €	13.586.987 €
	Cenário 2	215.325 €	13.126.511 €
	Cenário 3	213.643 €	12.345.693 €
5.000	Cenário 4	300.073 €	18.358.195 €
	Cenário 5	245.691 €	17.427.991 €
	Cenário 6	242.292 €	15.851.266 €
7.500	Cenário 7	352.617 €	22.933.630 €
	Cenário 8	271.043 €	21.538.097 €
	Cenário 9	265.945 €	19.172.224 €
10.000	Cenário 10	410.088 €	27.742.511 €
	Cenário 11	301.324 €	25.882.102 €
	Cenário 12	294.526 €	22.728.654 €
25.000	Cenário 13	732.899 €	55.217.618 €
	Cenário 14	463.651 €	50.612.251 €
	Cenário 15	446.823 €	42.806.192 €

9.6 PREÇO DE VENDA DA ÁGUA AOS CONSUMIDORES

O preço do m³ da água vendida aos consumidores foi estabelecido em 0,80€/m³.

Esse valor é referido (Comissão Especializada de Legislação e Economia da APDA, 2006) como sendo o valor médio unitário do m³ de água em serviços de abastecimento. Este valor é também muito

próximo, segundo a mesma publicação, do valor que é efectivamente cobrado no concelho de Arcos de Valdevez, parecendo por isso um valor muito viável para ser utilizado neste estudo.

Contudo, em muitos dos cenários estudados, esse valor de 0,80 €/m³ está longe de cobrir todas as despesas e custos, que estão resumidos no Quadro 9.5.1, como será demonstrado.

No cenário 1, por exemplo, como podemos ver no Quadro 9.5.1, o custo total ao fim do primeiro ano é de 242.236€. Tendo em conta que no primeiro ano do cenário 1, se pensa vender 70.080 m³ água, com uma simples conta,

$$\frac{242.236\text{€}}{70.080\text{m}^3} = 3,46 \text{ €/m}^3 \quad (2)$$

Ou seja, no primeiro ano de exploração do cenário 1, cada m³ de água vendida a 0,8€, custou à empresa gestora 3,46€.

Para o cenário 2, é ainda mais grave que para o cenário 1, sendo que,

$$\frac{215.325\text{€}}{14.016\text{m}^3} = 15,36 \text{ €/m}^3 \quad (3)$$

Com o decorrer dos anos, nalguns casos, o aumento dos consumos e da população faz com que o preço de custo por m³ diminua. Noutros casos embora noutros essa tendência inverte-se pois o acréscimo de custos é superior ao aumento de água vendida. No Quadro 9.6.1 apresenta-se o preço de custo por m³ de água no primeiro e último ano de exploração, assim como o preço de venda em cada ano.

Quadro 9.6.1 - Preço de custo e de venda da água

População ano Horizonte	Cenário	Preço da água			
		Ano 1 Custo	Ano 1 Venda	Ano 40 Custo	Ano 40 Venda
2.500	Cenário 1	3,46 €/m ³	0,80 €/m ³	3,78 €/m ³	2,53 €/m ³
	Cenário 2	15,36 €/m ³	0,80 €/m ³	3,78 €/m ³	2,53 €/m ³
	Cenário 3	20,32 €/m ³	0,80 €/m ³	4,32 €/m ³	2,53 €/m ³
5.000	Cenário 4	2,12 €/m ³	0,80 €/m ³	2,70 €/m ³	2,53 €/m ³
	Cenário 5	8,67 €/m ³	0,80 €/m ³	2,70 €/m ³	2,53 €/m ³
	Cenário 6	11,41 €/m ³	0,80 €/m ³	2,98 €/m ³	2,53 €/m ³
7.500	Cenário 7	1,66 €/m ³	0,80 €/m ³	2,34 €/m ³	2,53 €/m ³
	Cenário 8	6,38€/m ³	0,80 €/m ³	2,34 €/m ³	2,53€/m ³
	Cenário 9	8,35 €/m ³	0,80 €/m ³	2,53 €/m ³	2,53 €/m ³
10.000	Cenário 10	1,45 €/m ³	0,80 €/m ³	2,17 €/m ³	2,53€/m ³
	Cenário 11	5,32 €/m ³	0,80 €/m ³	2,17 €/m ³	2,53 €/m ³
	Cenário 12	6,93 €/m ³	0,80€/m ³	2,32 €/m ³	2,53 €/m ³
25.000	Cenário 13	1,05 €/m ³	0,80 €/m ³	1,85 €/m ³	2,53 €/m ³
	Cenário 14	3,31 €/m ³	0,80 €/m ³	1,85 €/m ³	2,53 €/m ³
	Cenário 15	4,25 €/m ³	0,80€/m ³	1,92 €/m ³	2,53€/m ³

Como se pode ver, só a partir do cenário 7 é que nalguns casos o preço de venda da água é superior ao preço de custo, tornando-se mais evidente nos cenários respeitantes à população de 10.000 e 25.000 em que no ano 40, o preço de venda é sempre superior ao preço de custo.

Tendo em conta o Quadro 9.6.1, facilmente se percebe que dificilmente uma rede para servir uma pequena população poderá ser rentável. Contudo, há a considerar ainda algumas receitas que as entidades gestoras obtêm, nomeadamente, o aluguer dos contadores e o pagamento dos ramais de ligação à rede.

9.7 RAMAIS DE LIGAÇÃO

Os custos com os ramais de ligação poderão ser ou não imputados às populações, como forma de estimular a adesão, mas neste caso, e por ser o mais usual, foram considerados como sendo pagos pelos interessados em aderir à rede de abastecimento.

O número de ramais depende da taxa de adesão e do tipo de fogo (quantos habitantes por residência/ramal). Considerou-se que para os cenários com população no ano horizonte de 2.500 habitantes, que cada ramal serviria 3,5 habitantes, e que esse número ia aumentando até que nos cenários com 25.000 habitantes seria de 7 habitantes por ramal, devido à proliferação de moradias bifamiliares e pequenos prédios.

O custo de cada ramal, excluindo movimentos de terra, mão-de-obra e pavimentação, é de 150€, e inclui a caixa de ligação, o acessório T, uma válvula e 10 metros de tubagem DN32. O preço que é cobrado aos consumidores é o preço de custo total, com um acréscimo de 20%.

Assim, no Cenário 1, todos os ramais são pagos logo no primeiro ano, pois tem adesão de 100%, já nos Cenários 2 e 3, os ramais vão sendo pagos ao longo do tempo de exploração, com o aumento da adesão. Os preços de venda dos ramais, além dos 20% de acréscimo face ao preço de custo, também são actualizados em 3% ao ano.

No quadro seguinte apresenta-se a receita que a entidade gestora recebe pela venda dos ramais, no primeiro ano de exploração e no total, em cada cenário.

Quadro 9.7.1 - Comparação das receitas obtidas com venda de ramais

População ano Horizonte	Cenário	Receita de Venda de Ramais	
		Ano 1	Total
2.500	Cenário 1	312.515 €	312.515 €
	Cenário 2	62.503 €	418.069 €
	Cenário 3	46.877 €	363.080 €
5.000	Cenário 4	568.209 €	568.209 €
	Cenário 5	113.642 €	760.126 €
	Cenário 6	85.231 €	660.146 €
7.500	Cenário 7	781.288 €	781.288 €
	Cenário 8	156.258 €	1.045.173 €
	Cenário 9	117.193 €	907.701 €
10.000	Cenário 10	961.585 €	961.585 €
	Cenário 11	192.317 €	1.286.367 €
	Cenário 12	144.238 €	1.117.170 €
25.000	Cenário 13	1.562.576 €	1.562.576 €
	Cenário 14	312.515 €	2.090.346 €
	Cenário 15	234.386 €	1.815.401 €

A adesão ao longo do tempo, resulta mais lucrativa no que diz respeito à venda de ramais de ligação, do que a adesão a 100% logo no primeiro ano de exploração, devido ao aumento do preço de cada ramal.

9.8 ALUGUER DE CONTADORES

Outra fonte de receitas para a entidade gestora de sistemas de abastecimento de água é o aluguer de contadores aos consumidores.

Considerou-se o valor médio de 60€ anuais por cada contador, sendo esse valor actualizado em 3% todos os anos à semelhança do que foi realizado para os outros custos e receitas.

O número de contadores está directamente ligado ao número de consumidores, mas ao contrário dos ramais, em que para um pequeno prédio só necessita de um ramal, cada fogo precisa de um contador. Para cálculo das receitas obtidas com o aluguer de contadores, admitiu-se a necessidade de um contador por cada 3,5 habitantes, em todos os cenários.

No Quadro 9.8.1 estão discriminadas as receitas de aluguer e contadores, para o primeiro ano de exploração e para o total dos 40 anos.

Quadro 9.8.1 - Comparação das receitas obtidas com o aluguer de contadores

População ano Horizonte	Cenário	Receita do Aluguer de Contadores	
		Ano 1	Total
2.500	Cenário 1	42.857 €	3.231.483 €
	Cenário 2	8.571 €	2.748.973 €
	Cenário 3	6.429 €	2.114.929 €
5.000	Cenário 4	85.714 €	6.462.965 €
	Cenário 5	17.143 €	5.497.947 €
	Cenário 6	12.857 €	4.229.858 €
7.500	Cenário 7	128.571 €	9.694.448 €
	Cenário 8	25.714 €	8.246.920 €
	Cenário 9	19.286 €	6.344.787 €
10.000	Cenário 10	171.429 €	12.925.930 €
	Cenário 11	34.286 €	10.995.894 €
	Cenário 12	25.714 €	8.459.715 €
25.000	Cenário 13	428.571 €	32.314.826 €
	Cenário 14	85.714 €	27.489.735 €
	Cenário 15	64.286 €	21.149.289 €

É perceptível que o aluguer de contadores é uma importante fonte de receita para as entidades gestoras das redes de abastecimento, sendo quase tão importante como a própria receita obtida pela venda de água.

10

ANÁLISE MULTICRITÉRIO

10.1 GENERALIDADES

Neste capítulo procura fazer-se uma comparação entre os vários cenários estudados em relação aos parâmetros que se revelaram mais relevantes ao longo do estudo, nomeadamente a qualidade da água, medida em grande parte pelo número de estações de recloração necessárias em cada cenário, e também o aspecto económico, analisado no capítulo 8 e 9.

Pretende-se assim conhecer em que medida a adesão influencia esses dois parâmetros, bem como de que forma uma população maior é afectada pelos níveis de adesão, e se o comportamento é correspondente ao de uma rede que sirva uma população inferior.

10.2 QUALIDADE

O critério, qualidade da água para abastecimento, foi neste estudo medido através do recurso à simulação de qualidade, mais precisamente, à simulação da concentração de cloro residual livre ao longo da rede.

Considerou-se que qualquer ponto na rede em que a concentração de desinfectante residual na água seja superior a 0,20 mg/l, tem qualidade de água suficiente para ser consumida. Nos casos em que isso não sucede, é necessário prever utilização de estações de recloração ao longo da rede, para que todos os pontos de consumo estejam assim protegidos pela concentração de cloro suficiente e adequada.

Nas figuras seguintes pode visualizar-se a forma como evolui o número de estações de recloração para cada população a abastecer no ano horizonte.

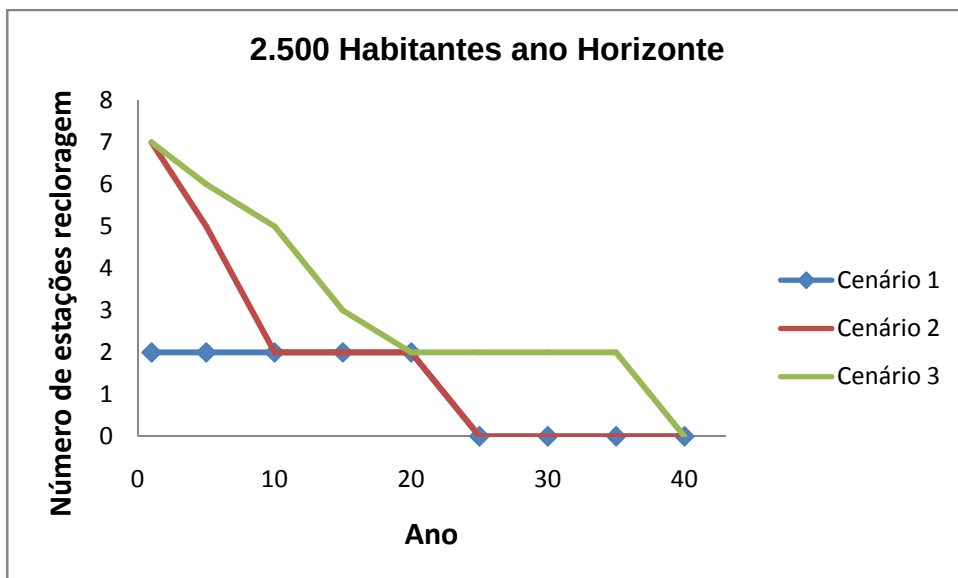


Figura 10.2.1 - Comparação Cenário 1,2 e 3 - estações de reclusão

Como se pode ver, há claras diferenças entre os três cenários aqui apresentados, se no Cenário 1, com adesão de 100%, só são necessárias 2 estações de reclusão ao longo dos primeiros 20 anos de exploração, já no Cenário 3, com apenas 15% de adesão, são necessárias 7 estações de reclusão no primeiro ano, sendo que só nos últimos 5 anos não será necessária qualquer estação de reclusão.

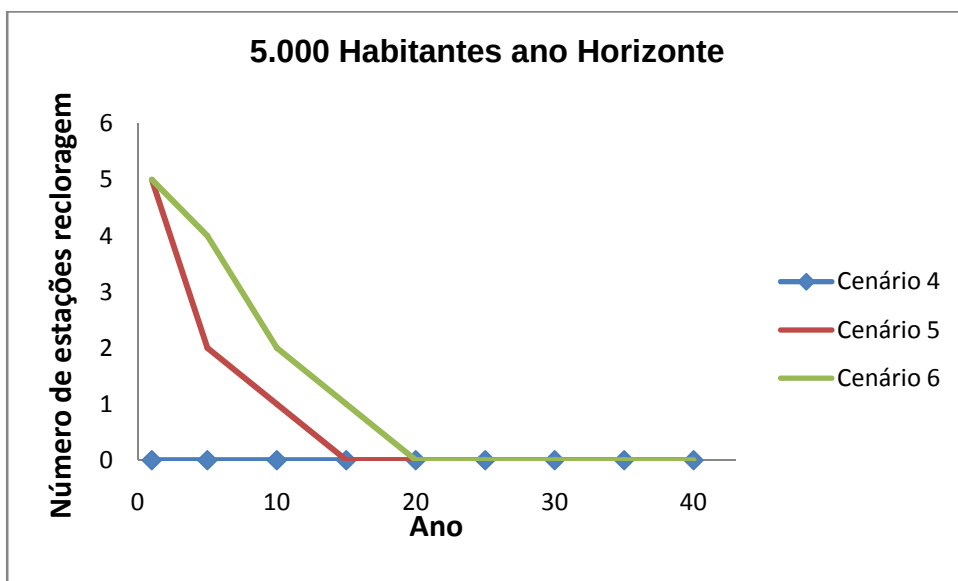


Figura 10.2.2 - Comparação Cenário 4,5 e 6 - estações de reclusão

Nesta figura, com o aumento de população no ano horizonte para 5.000 habitantes, podemos ver que no Cenário 4, já não são necessárias estações de reclusão, contrariamente ao correspondente Cenário 1 visto na Figura 10.2.1. quanto aos Cenário 5 e 6, no primeiro ano de funcionamento necessitam de 5 estações de reclusão, mas ao fim de 15 anos já não são necessárias estações de reclusão no cenário 5 (no Cenário 2 são 25 anos), e no Cenário 6 o mesmo sucede ao fim de 20 anos (no Cenário 3 são 35 anos).

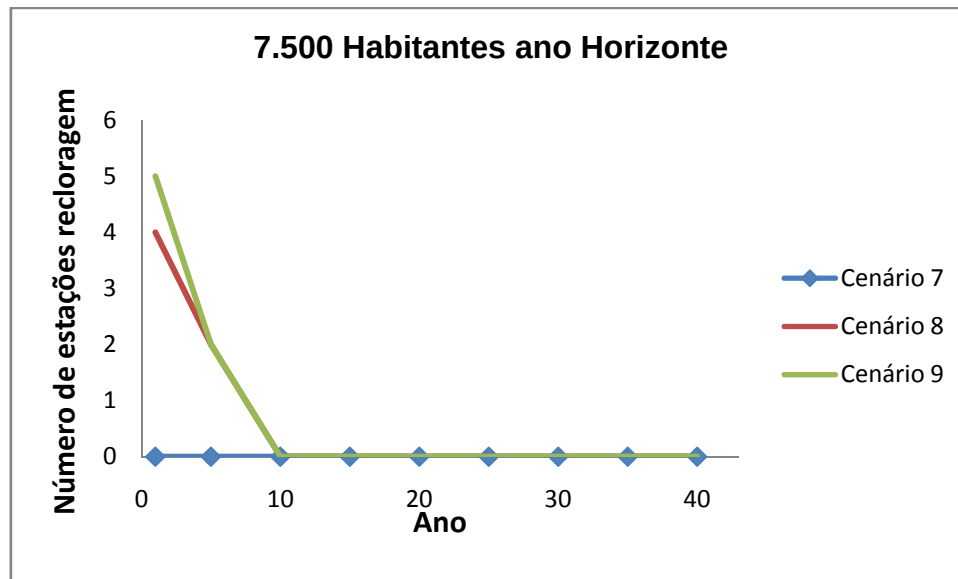


Figura 10.2.3 - Comparação Cenário 7,8 e 9 - estações de reclusão

À semelhança do que acontecia no Cenário 4, o Cenário 7 não necessita de nenhuma estação de reclusão. Já os Cenários 8 e 9 são muito semelhantes, sendo que ambos precisam de uma quantidade razoável de estações de reclusão no primeiro ano de funcionamento. É de notar que ao fim dos primeiros 10 anos de exploração, nenhum dos 3 cenários necessita de qualquer estação de reclusão.

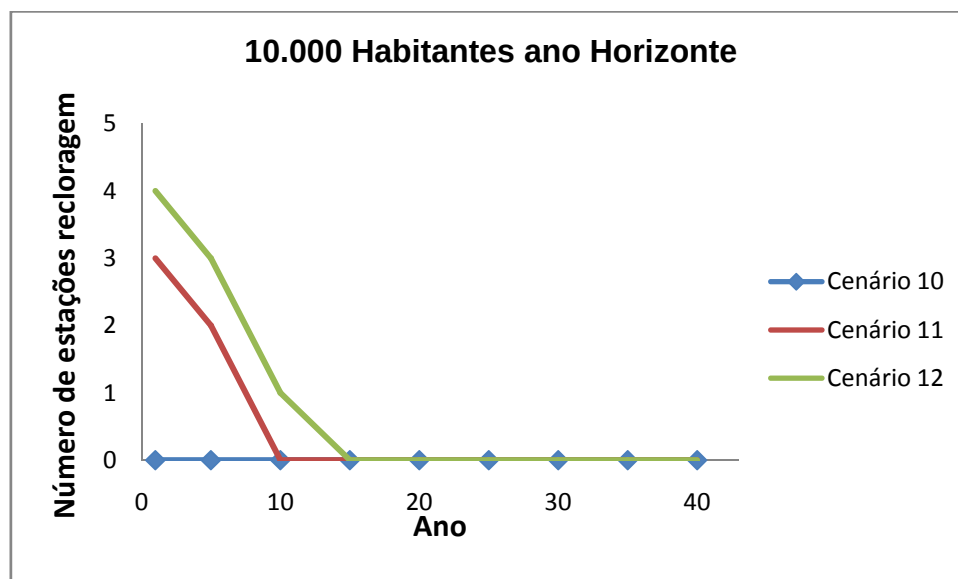


Figura 10.2.4 - Comparação Cenário 10,11 e 12 - estações de reclusão

Quanto aos cenários com estimativa de população de 10.000 habitantes, mantêm-se as tendências registadas nos anteriores, sendo que o Cenário 10, com adesão de 100% não necessita de qualquer estação de reclusão, e os outros dois cenários apenas necessitam nos primeiros anos de exploração.

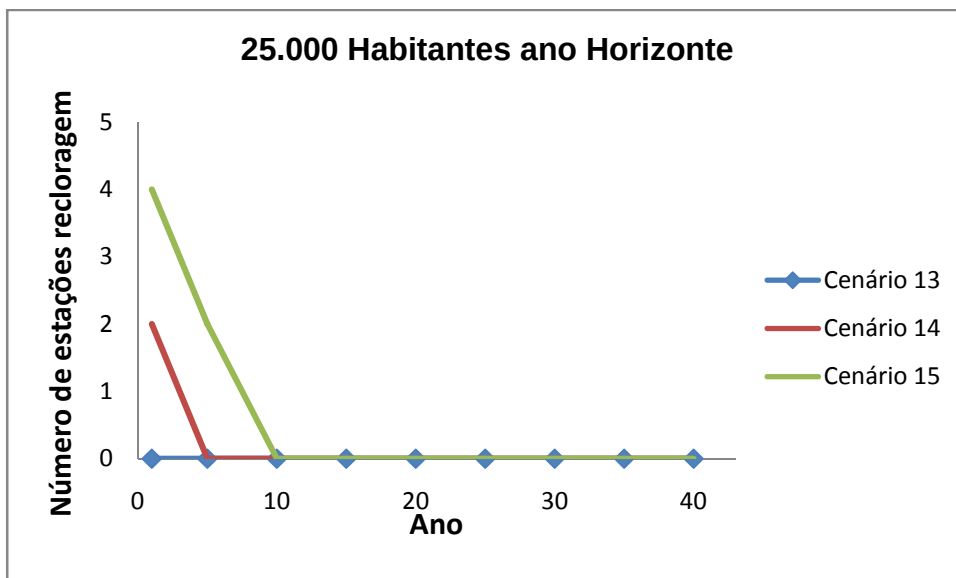


Figura 10.2.5 - Comparação Cenário 13,14 e 15 - estações de recloração

Mesmo nos cenários com população 10 vezes superior ao do caso real (Cenários 13, 14 e 15), quando a adesão é de 15 ou 20%, são necessárias estações de recloração ao longo da rede para que a concentração de cloro residual livre seja satisfatória em todos os pontos.

Depois de analisar todos estes cenários, pode-se concluir que a adesão influencia significativamente o número de estações de recloração necessárias.

10.3 ECONOMIA

Nos capítulos 8 e 9, foram descritas as várias parcelas de custos e receitas analisadas. Neste ponto pretende-se comparar os resultados finais obtidos em cada cenário, avaliando assim os efeitos da taxa de adesão a nível económico.

Assim, para o Cenário 1 no primeiro ano de exploração tem-se,

- ❖ Total de custos anual (Quadro 9.5.1) - 242.236 €
- ❖ Venda de água – 56.064 €
- ❖ Ramais de ligação (Quadro 9.7.1) – 312.515 €
- ❖ Aluguer de Contadores (Quadro 9.8.1) – 42.857 €

No primeiro ano deste cenário, o lucro obtido é então de 169.200 €, faltando ainda deduzir o IRC, pelo que o lucro líquido seria de 126.900 €.

O facto de no primeiro ano este cenário apresentar lucro deve-se exclusivamente à venda dos ramais logo no primeiro ano, sendo que no 2º ano de exploração, já apresenta prejuízo, mantendo-se assim até ao final dos 40 anos, como se pode ver na Figura 10.3.1, que representa o lucro em cada ano para o cenário 1.

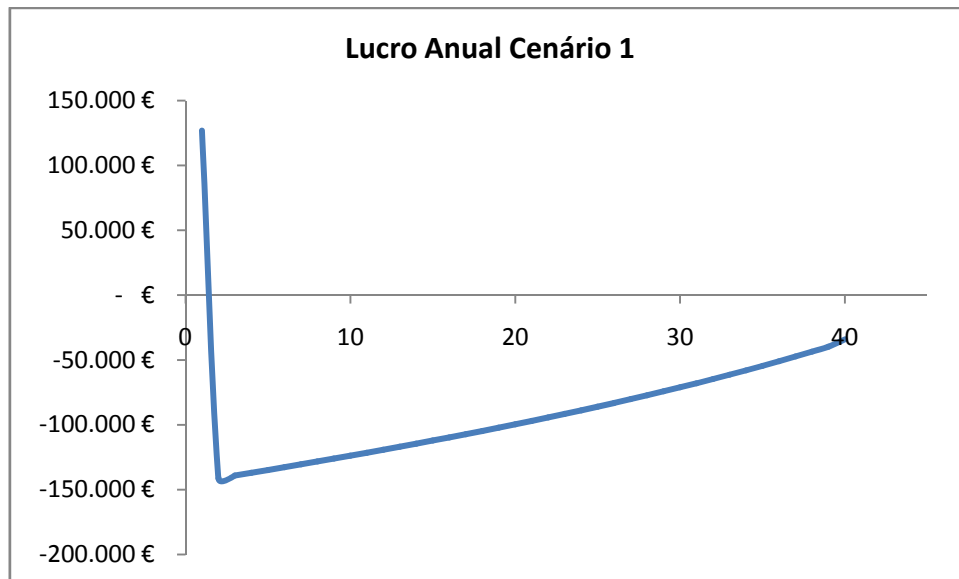


Figura 10.3.1 - Evolução do lucro anual no cenário 1

A Figura 10.3.2 permite comparar a evolução do lucro anual do Cenário 1, com o dos Cenários 2 e 3, e permite concluir que nenhum dos dois tem um único ano com lucro positivo, sendo que o Cenário 3, com uma adesão sempre inferior à do Cenário 2, é o que apresenta os piores resultados.

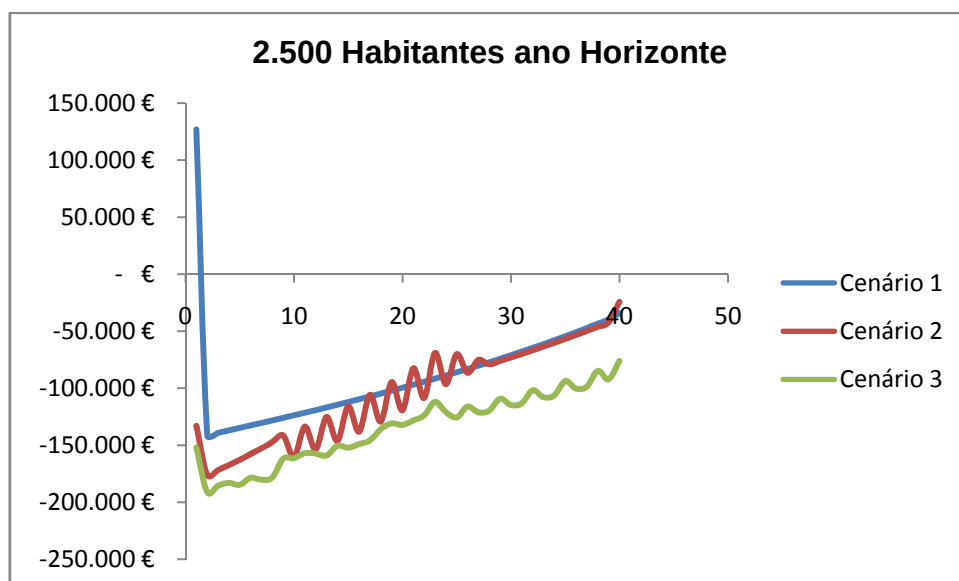


Figura 10.3.2 - Evolução dos lucros anuais dos Cenários 1, 2 e 3

Na Figura 10.3.3 representa-se a evolução dos lucros, para os Cenários 3, 4 e 5, correspondentes a população de 5.000 habitantes no ano horizonte.

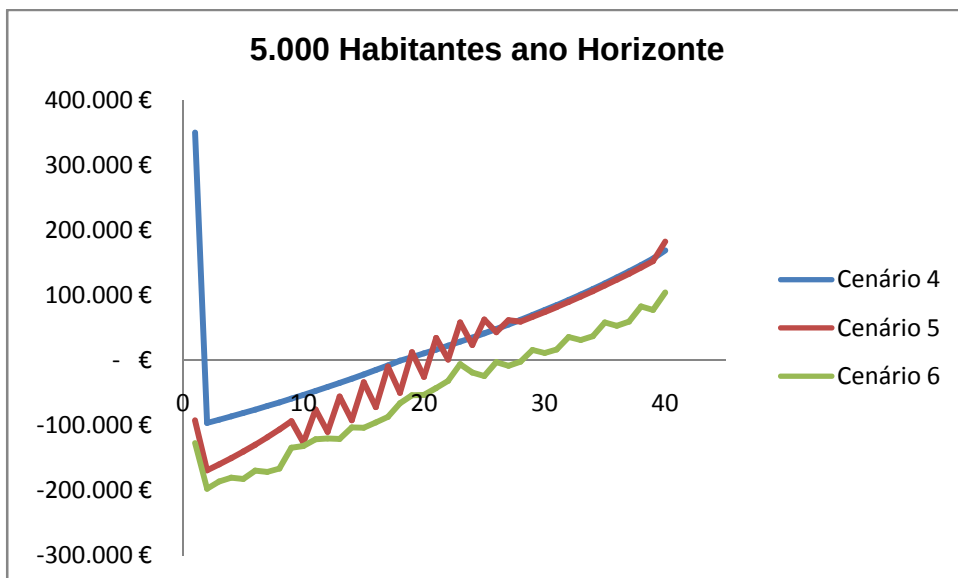


Figura 10.3.3 - Evolução dos lucros anuais dos Cenários 4, 5 e 6

Da mesma forma que aconteceu no Cenário 1, o Cenário 4 apresenta lucro no primeiro ano, respeitante à venda dos ramais de ligação, voltando a ter resultados negativos logo de seguida, até voltar a dar lucro no ano 19, mantendo-se essa tendência até ao fim dos 40 anos. Os Cenários 5 e 6, dão prejuízo desde o primeiro ano, só começando a dar lucro a partir do ano 20 no Cenário 5, e de muito próximo do ano 30 no Cenário 6, mas mantendo-se depois positivos ao longo do restante tempo de exploração.

Analogamente para os cenários respeitantes à população de 7.500 habitantes, tem-se a Figura 10.3.4.

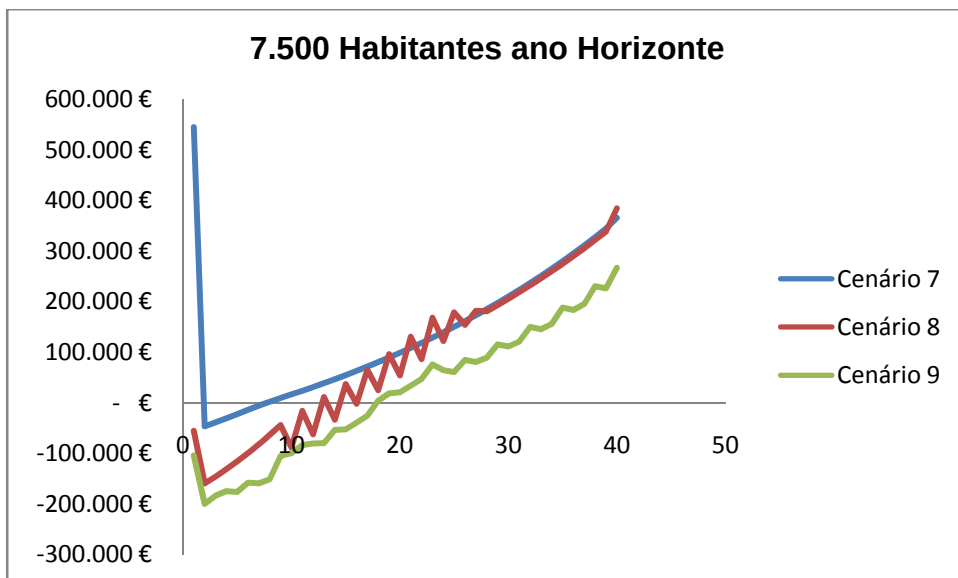


Figura 10.3.4 - Evolução dos lucros anuais dos Cenários 7, 8 e 9

Mais uma vez, apenas o cenário com adesão de 100% no primeiro ano (Cenário 7), apresenta lucro, embora no 2º ano já apresente prejuízos, só voltando aos lucros a partir do ano 8 de exploração. Quanto aos cenários com taxas de adesão inferiores, estes só começam a apresentar lucro a partir dos 15 anos.

Na Figura 10.3.5 analisa-se os cenários com população de 10.000 habitantes no ano horizonte.

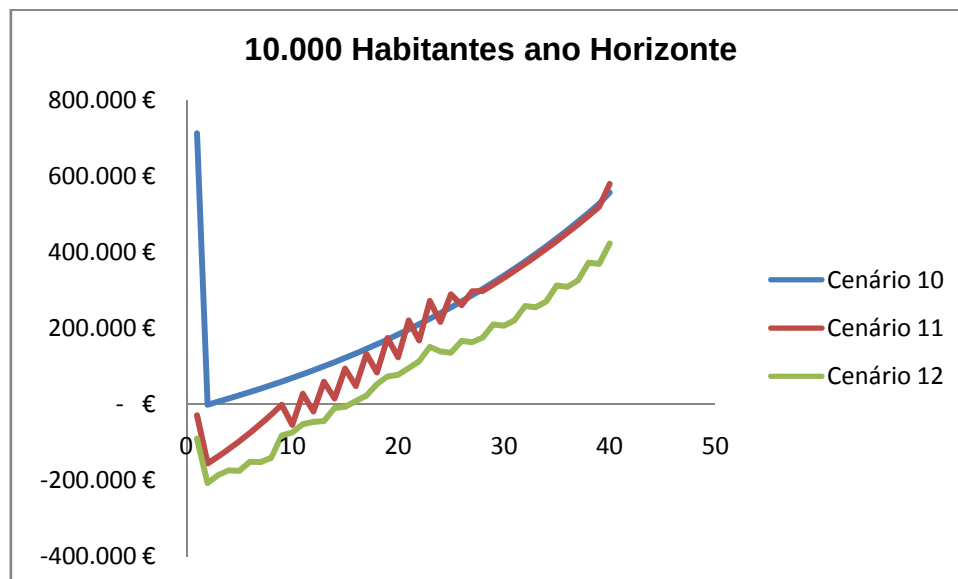


Figura 10.3.5 - Evolução dos lucros anuais dos Cenários 10,11 e 12

Pela primeira vez existe um cenário (Cenário 10) que praticamente não dá qualquer prejuízo ao longo de toda a exploração (o 2º ano apresenta um prejuízo de 1.774€ que se pode considerar irrelevante).

Os dois cenários com adesões mais baixas, têm um comportamento idêntico ao que os seus semelhantes têm obtido nos cenários com populações menores, a principal diferença em termos económicos é que os cenários com maior população começam a ter resultados positivos mais rapidamente. Pode-se concluir precisamente isto analisando a figura, correspondente aos cenários com 25.000 habitantes no ano horizonte.

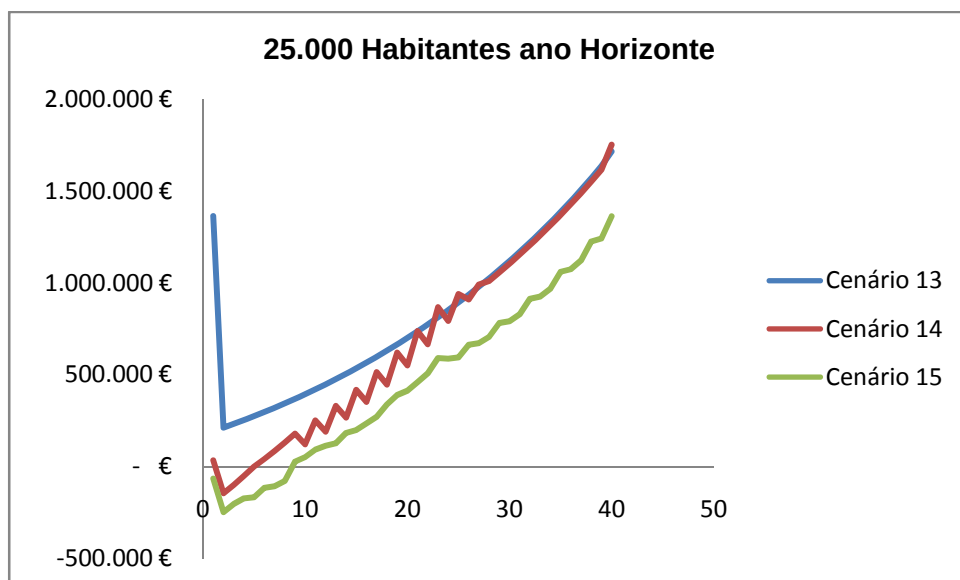


Figura 10.3.6 - Evolução dos lucros anuais dos Cenários 13,14 e 15

O Cenário 13, é um cenário claramente lucrativo desde o primeiro ano, com o lucro a aumentar logo a partir do 2º ano. Os outros dois cenários, têm resultados negativos durante os primeiros anos de exploração, em que a adesão é muito baixa, mas tornam-se lucrativos ainda antes da primeira década de funcionamento da rede.

Na Figura 10.3.7 pode-se ver uma comparação do resultado financeiro de cada cenário ao fim dos 40 anos de exploração.

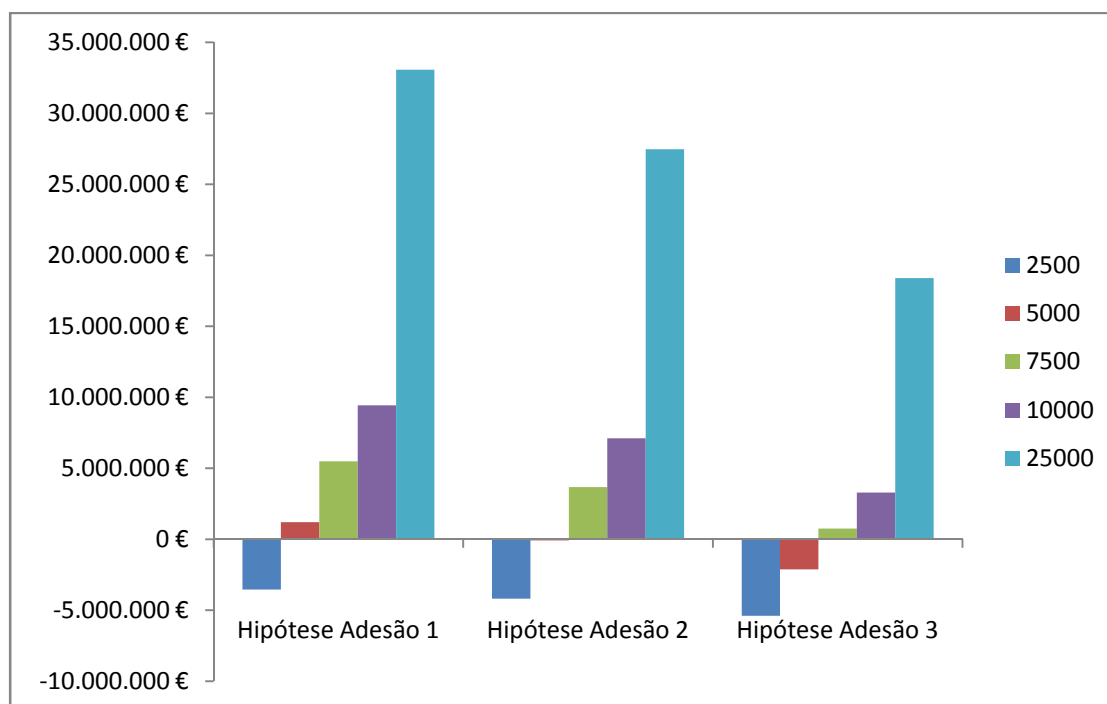


Figura 10.3.7 - Resultados económicos ao fim dos 40 anos de exploração

Os resultados estão agrupados pelo tipo de adesão de cada cenário, e legendados com a população estimada no ano horizonte.

Assim, para os cenários em que foi considerada a Hipótese de Adesão 1 (Cenários 1, 4, 7, 10 e 13), só a população de 2.500 habitantes (Cenário 1) é que apresenta prejuízo ao fim dos 40 anos de exploração, sendo que para as outras populações os resultados são positivos.

Para a Hipótese de Adesão 2 (Cenários 2, 5, 8, 11 e 14), os resultados são sempre inferiores aos registados na Hipótese de Adesão 1, sendo que o cenário correspondente à população de 5.000 habitantes (Cenário 5), ao fim dos 40 anos não apresenta nem lucro nem prejuízo.

A Hipótese de Adesão 3 (Cenários 3, 6, 9, 12, e 15), sendo a mais pessimista, é naturalmente a que apresenta os piores resultados no balanço final de 40 anos de exploração. A população de 5.000 habitantes (correspondente ao Cenário 6), apresenta agora resultados negativos de 2.118.000 €, quando, na Hipótese de Adesão 2 tinha balanço nulo (Cenário 5), e na Hipótese de Adesão 1 tinha um resultado positivo de 1.199.000 €.

11

CONCLUSÃO E PROPOSTAS FUTURAS

O estudo agora apresentado foca algumas das maiores preocupações actuais das entidades gestoras de redes públicas de abastecimento de água e relativas à aceitabilidade do produto fornecido. Estas entidades são constantemente indagadas e colocadas em causa pelo serviço que disponibilizam, tanto a nível de qualidade da água, como de adequabilidade e estabilidade desse serviço.

Uma, senão a maior, influência sobre esta aceitabilidade relaciona-se com a concentração de cloro residual na água. Esta é, muitas vezes, utilizada para medir de uma forma rápida a qualidade da água e a sua susceptibilidade a novas contaminações, uma vez que a “barreira” de desinfectante protege a água ao longo da rede da acção dos microrganismos, mas tem o efeito contrário de suscitar dificuldades de aceitabilidade em termos de alteração de sabor e cheiro, que provocam a reacção dos utilizadores.

A concentração do cloro residual ao longo da rede depende de muitos factores, como por exemplo, a concentração inicial à saída da estação de tratamento de água, o material da tubagem, a quantidade de biofilme formado nas paredes e, também, da qualidade e das características da própria água. Resumindo, em sistemas de distribuição de água ocorre decaimento de cloro residual devido, quer a reacções no seio da água, quer a interacções com a própria parede das tubagens e acessórios.

Todos estes efeitos são intrínsecos ao próprio sistema de abastecimento de água, existindo um outro – externo mas de extrema importância e pertinência e variável no tempo ao longo do período de vida útil das infra-estruturas, que é o efeito da adesão ou a taxa de adesão dos utilizadores ao sistema e com uma influência directa sobre a permanência ou não do cloro na rede.

A velocidade de escoamento da água na rede de distribuição – variável directamente relacionada com a questão em causa, é durante os primeiros anos de exploração, quer na hipótese de adesão a 100% ou nas de adesão inferior, inferior ao mínimo regulamentar na grande maioria dos troços da rede, com maior incidência nos troços extremos das redes, permitindo concluir que a rede se encontra sobredimensionada. No entanto e como habitualmente, estes troços estão dimensionados com o diâmetro mínimo regulamentar de 60 mm, ou ligeiramente menos se for o caso da utilização de materiais como o PVC ou o PEAD. Isto é, a condição do diâmetro mínimo regulamentar a utilizar, levanta a questão ou dúvida de que se deverá ser este o diâmetro mínimo.

As principais consequências do sobredimensionamento são os elevados tempos de percurso da água no sistema, um maior decaimento do cloro residual e, consequentemente, um maior risco de contaminação. Este problema assume particular relevância, uma vez que para assegurar a qualidade da água ao longo de toda a rede é, muitas vezes, necessária a instalação de estações de recloração em

diferentes locais da rede, sendo também recomendável instalar dispositivos que permitam fazer descargas periódicas de água, nos trechos terminais de modo a “criar” escoamento e, conseqüentemente, velocidade.

Se por um lado, as baixas velocidades influenciam a concentração com que o cloro residual chega aos extremos da rede, por outro lado, a variação das taxas de adesão da população às redes de abastecimento influenciam a velocidade de escoamento, devido à variação de consumos, influenciando desse modo também o decaimento do cloro residual.

Perante o conhecimento desta problemática entendeu-se estudar, simulando, o funcionamento de uma rede de distribuição de água para variadas situações ou cenários de operação consubstanciadas na variação hipotética de diferentes hipóteses temporais de adesão ao sistema por parte dos possíveis utilizadores.

Os cenários considerados e estudados foram divididos em cenários com população de 2.500, 5.000, 7.500, 10.000 e 25.000 habitantes no ano horizonte de projecto. Cada um destes grupos está subdividido em 3 Hipóteses de Adesão (100%, 20%, 15%), formando assim 15 cenários. Em todos os casos, os cenários com maior taxa de adesão foram os que apresentaram melhor qualidade da água, ou seja, maior concentração de cloro residual ao longo da rede logo, menor necessidade de estações de recloragem. Os cenários com Hipóteses de Adesão 2 e 3 são caracterizados por velocidades extremamente lentas nos primeiros anos de exploração da rede de abastecimento, principalmente nos troços extremos, mantendo-se esse panorama até a taxa de adesão ser consideravelmente superior à inicial.

A ocorrência de baixas velocidades de escoamento, tem como consequência um grande decaimento do cloro residual, sendo necessária a instalação de várias estações de recloragem ao longo da rede, sendo que o número e o período pelo qual essas estações são necessárias estão intimamente ligados com a taxa de adesão e a população servida. Assim pode concluir-se, que para o mesmo grau de adesão, quanto menor a população servida, maior a necessidade de estações de recloragem.

O número de estações de recloragem influencia também a rentabilidade da rede de abastecimento de água, devido aos custos de instalação da mesma e aos custos de manutenção. Apesar do custo com estações de recloragem não ser muito relevante face aos restantes valores investidos, como se demonstrou, os cenários com maiores necessidades neste capítulo, são os que têm menor taxa de adesão e populações mais baixas, logo, os que dão menor retorno de investimentos, ou mesmo prejuízo ao fim dos quarenta anos de exploração.

Quando à análise económica realizada, pode concluir-se que a taxa de adesão é um parâmetro que influencia os resultados económicos dos vários cenários analisados. A taxa de adesão influencia bastante as receitas das entidades gestoras, uma vez que para além do volume de água vendida interfere ainda na receita obtida pelo aluguer de contadores e ligações de ramais domiciliários, fontes tão importantes de receitas como a própria venda da água.

Os cenários referentes à população real (Cenários 1, 2 e 3) apresentam resultados negativos no balanço final dos quarenta anos de exploração, independentemente da Hipótese de Adesão considerada, sendo claro que esta rede muito dificilmente será uma rede lucrativa do ponto de vista económico, uma vez que mesmo com 100% de adesão logo no primeiro ano apresenta resultados negativos. Segundo os cálculos efectuados, só servindo uma comunidade com o dobro da população é que a rede seria passível de dar lucro, caso a adesão fosse de 100% desde o primeiro ano. Se a hipótese de adesão adoptada for a Hipótese 2 ou 3, só com uma população 3 vezes superior à real é que se deveria esperar que a rede em estudo seja uma rede rentável.

Quanto mais aumentar a população, maiores são as receitas obtidas pelas entidades gestoras o que, face ao facto de as despesas não aumentarem na mesma proporção, conduz a que estes casos embora ainda dependentes do fenómeno da adesão, não se encontrem tão vulneráveis quanto os anteriormente analisados.

Como conclusão final, pode-se afirmar que o abastecimento de água a uma população deste tipo, dispersa e com pouca concentração habitacional, que exige grande extensão de rede para servir poucos habitantes, não é economicamente viável, e deverá ser encarada como parte de um sistema global, para que os lucros gerados por uma zona com maior densidade populacional possam contribuir para suportar os prejuízos de áreas mais dispersas.

Pontos fracos do Presente Trabalho

O Projecto apresentado assenta numa rede de abastecimento de água real, cujo dimensionamento e implantação foi cedido pela equipa projectista. Contudo, este estudo é também rico em especulações e suposições que afectam a objectividade e precisão dos resultados obtidos. Foram admitidas Hipóteses de Adesão teóricas, das quais se tem perfeita consciência que a forma como a adesão se desenvolve ao longo do período de vida útil da infra-estrutura não pode ser prevista. É tão variável e incontável que se poderá incorrer em resultados potencialmente falaciosos.

Foram também criados vários cenários, conjugando as Hipóteses de Adesão, que já se viu serem passíveis de erro com populações superiores à real, o que resulta em cenários completamente hipotéticos e especulativos, que se julgou adequado a um projecto de estudo e investigação meramente académico.

Ao longo do projecto e por falta de meios/tempo, foram cometidas algumas imprecisões, que passam pela falta de calibração do modelo hidráulico, com tudo o que isso acarreta em termos de fiabilidade de resultados. Foi também admitido que os padrões de consumo utilizados seriam semelhantes à de uma freguesia com características semelhantes, não se tendo qualquer informação sobre os reais padrões de consumo da rede estudada.

Os valores utilizados para simular o modelo de qualidade, nomeadamente as constantes cinéticas de decaimento de cloro residual, foram retirados de Dias (2002), e são referentes aos testes que a autora fez para o sistema de abastecimento das Águas do Cávado,SA. Estes coeficientes diferem de sistema para sistema, pelo que para uma análise de qualidade mais correcta seria necessário proceder a testes de laboratório a fim de determinar o coeficiente de decaimento de cloro no seio da água e em contacto com as paredes da tubagem (k_{bulk} e k_{wall} , respectivamente).

Por fim, uma alusão à análise económica, cujos valores utilizados tentaram ser os mais realistas possíveis, mas devendo ser tomados apenas como valores de referência e para comparação entre cenários, não tendo qualquer valor como “orçamento” real para efectuar uma obra deste tipo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, H. (2005). *Controlo de perdas de água em sistemas publicos de adução e distribuição*. Serie Guias Tecnicos 3. Lisboa: LNEC.
- Alegre, H. (2005). *Indicadores de Desempenho para serviços de abastecimento de água*. Lisboa: IRAR.
- Alegre, H. (1990). *Modelação de redes de distribuição de água de abastecimento*. Lisboa: LNEC.
- Alegre, H., & Hirner, W. (2004). *Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. Série de Guias Técnicos 1*. Lisboa: LNEC.
- Almeida, C. (1998). *Tratamento da água: sub-produtos da coloração*. Lisboa.
- Beleza, J. (2005). *Simulação das Concentrações de Cloro Residual e Tri-Halometanos em Redes de distribuição de Água para Consumo Humano*. Porto: FEUP.
- Cesario, L. (1995). *Modeling analysis and design of water distribution systems*. Denver: AWWA.
- Ciclo Hidrológico - Wikipédia*. (2007). Obtido em Outubro de 2007, de Wikipédia - a Enciclopédia Livre: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrológico
- Coelho. (2003). *Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água*. LNEC.
- Comissão Especializada de Legislação e Economia da APDA. (2006). *Água e Saneamento em Portugal - O Mercado e os Preços*. APDA.
- Consortio de Aguas de Asturias. (2007). *Consortio para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Principado de Asturias*. Obtido em 30 de Outubro de 2007, de <http://www.consortioaa.com>
- Deb, & Cesario. (1997). *Water distribution systems for performance assessment*. Lisboa.
- Decreto de Lei 306/2007 de 27 de Agosto*.
- Decreto Regulamentar n.º 23/95. (23 de Agosto de 1995). *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*, pp. 5284-5319. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações: Diário da República n.º 194/95 SÉRIE I-B.
- Decreto-Lei nº 204/2002 . (2002). *NUTS em Portugal* .
- Dias, M. (2002). *Modelação Matemática de Quantidade e Qualidade de Água em Sistemas de Abastecimento Público*. Universidade do Minho.
- Haslay, & Leclerc. (1993). *Microbiologie des eaux d'alimentation*. Paris.
- Holt, et. al. (1998). *Importance of disinfectant demand of materials for mantaining residuals in drinking water distribution systems*. Mulheim.
- Kiéné, L. (1998). *Relative importance of the phenomena responsible for chlorine decay in drinking water distribution systems*. Water science and technology.
- Matos, R., Bicudo, J., & Alegre, H. (1993). *Indicadores técnicos e sócio-económicos no domínio do saneamento básico*. Lisboa: LNEC.
- McFeters, G. (1990). *Drinking water microbiology*. New York.
- Novais-Barbosa, J. (1986). *Mecânica dos Fluidos e Hidráulica Geral* (Vol. 1). Porto: Porto Editora.

- Ormsbee, L. (1997). *Calibrating Hydraulic Network Models*. Journal AWWA.
- Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais I e II. (s.d.).
- POLITEJO. (Março de 2004 b)). *Catálogo PEAD*. Obtido em Outubro de 2007, de Grupo POLITEJO: <http://www.politejo.com>
- Prévost, Rompré, Baribeau, Coallier, & Lafrance. (1998). *Suspended bacterial biomass and activity in full-scale drinking water distribution systems*.
- Quintela, A. C., & Correia da Piedade, M. L. (1990). Equipamento. In *Manual de Saneamento Básico* (Vol. 1). Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais - Direcção Geral dos Recursos Naturais.
- Sérgio Coelho, D. L. *Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água*. IRAR.
- Sousa, E. (1987). *Modelação de Sistemas de Distribuição de Águas Municipais*. IST.
- Vieira, P. (2000). Decaimento do cloro em sistemas de distribuição. *5º Congresso da Água*. Lisboa: APRH.
- Vieira, P. (2002). *Decaimento do Cloro em Sistemas de Distribuição de Água para Consumo Humano*. Lisboa: LNEC.
- Vieira, P., Coelho, S., & Praça, P. (2002). Controlo do Residual de Cloro em Sistemas de Transporte e Distribuição de Água. APDA.
- Walker. (1998). *Impact of the distribution system on water quality - a UK perspective*.
- Water Treatment Handbook, Volume 2*. (2007). Degremont.
- White, C. (1999). *Handbook of chlorination and alternative disinfectants*. USA.

ANEXOS

ANEXO I: Exemplo de orçamento para o Cenário 1 e Cenário 2.

ANEXO II: Exemplo de Custos/Receitas para o Cenário 1 e Cenário 5.

ANEXO I

Medições e Orçamento

DESIGNAÇÃO	Partes Semelhan- tes	MEDICÃO			ORÇAMENTO				
		DIMENSÕES			QUANTIDADES		PREÇOS		
		Comprimento	Largura	Altura	Parciais	Totais	Unitário	Parciais	Totais
CAPÍTULO I - Trabalhos Preparatórios									
1. Sinalização provisória dos trabalhos, designadamente placas indicadoras de empreitada, incluindo fornecimento, colocação e manutenção	1						750 €		750 €
2. Conservação durante o prazo da empreitada em adequadas condições de circulação, de trajectos existentes e dos itinerários de desvio de tráfego, bem como zonas de circulação pedonal (incluindo passadiços, vedações de protecção. etc...)	1						1.000 €		1.000 €
3. Montagem e desmontagem do estaleiro da empreitada, incluindo limpeza da área circundante.	1						1.500 €		1.500 €
4. Placard nas medidas regulamentares com as características da obra e entidades intervenientes, a instalar em local bem visível, a designar.	1						400 €		400 €
TOTAL DO CAPÍTULO I									3.650 €
CAPÍTULO II - Abertura e tapamento de valas									
1. Levantamento e reposição de pavimento em betuminoso, incluindo escolha e arrumação dos materiais		m	m	m	m ²	m ²			
- Ø32 mm		7.142,9	0,532	0,30	1.140,00		13 €	89.857 €	
- Ø63 mm		17.934,0	0,563	0,30	3.029,05		16 €	281.922 €	
- Ø75 mm		268,0	0,575	0,30	46,23		16 €	4.240 €	
- Ø90 mm		3.551,0	0,590	0,30	628,53		16 €	56.674 €	
- Ø110 mm		5.352,0	0,610	0,30	979,42		16 €	86.542 €	
- Ø125 mm		3428,0	0,625	0,30	642,75		16 €	56.528 €	
						6.465,98			575.763 €

DESIGNAÇÃO	Partes Semelhantes	DIMENSÕES			QUANTIDADES		PREÇOS		
		Comprimento	Largura	Altura	Parciais	Totais	Unitário	Parciais	Totais
2. Movimento de terras, incluindo regularização dos fundos das valas e		m	m	m	m ³	m ³			
- Ø32 mm		7.142,9	0,532	1,03	3.921,60		9 €	63.571 €	
- Ø63 mm		17.934,0	0,563	1,06	10.732,94		11 €	199.605 €	
- Ø75 mm		268,0	0,575	1,08	165,66		11 €	3.058 €	
- Ø90 mm		3.551,0	0,590	1,09	2.283,65		12 €	41.014 €	
- Ø110 mm		5.352,0	0,610	1,11	3.623,84		12 €	63.903 €	
- Ø125 mm		3.428,0	0,625	1,13	2.410,31		12 €	42.713 €	
						23.138,00			413.865 €
3. Transporte dos produtos sobrantes, a depósito, incluindo carga, descarga e regularização:	1,20	m	D _{ext} (m)		m ³	m ³	10 €		
- Ø32 mm		7.142,9	0,082		45,27			453 €	
- Ø63 mm		17.934,0	0,113		215,83			2.158 €	
- Ø75 mm		268,0	0,125		3,95			39 €	
- Ø90 mm		3.551,0	0,140		65,60			656 €	
- Ø110 mm		5.352,0	0,160		129,13			1.291 €	
- Ø125 mm		3.428,0	0,175		98,94			989 €	
						558,71			5.587 €
TOTAL DO CAPÍTULO II									995.215 €
CAPÍTULO III - Equipamento									
1. Bomba Doseadora (Dosapro Milton Roy)	4						500 €	2.000 €	
2. Sistema de comando e automatismos	2						700 €	1.400 €	
3. Cuba de polietileno capacidade 5m3	2						1.000 €	2.000 €	
4. Acessórios e tubos de injeção de reagente	2						200 €	400 €	
5. Trabalhos de instalação	2						1.000 €	2.000 €	
									7.800 €
TOTAL DO CAPÍTULO II									7.800 €

DESIGNAÇÃO	Partes Semelhantes	DIMENSÕES			QUANTIDADES		PREÇOS		
		Comprimento	Largura	Altura	Parciais	Totais	Unitário	Parciais	Totais
CAPÍTULO IV - Tubagem e acessórios									
1. Fornecimento e assentamento de condutas de PEAD PE100 PN10 (Pipelife), incluindo acessórios:		m							
- Ø32 mm		7.142,9					15 €	107.000 €	
- Ø63 mm		17.934,0					6 €	114.173 €	
- Ø75 mm		268,0					8 €	2.152 €	
- Ø90 mm		3.551,0					10 €	37.121 €	
- Ø110 mm		5.352,0					14 €	76.981 €	
- Ø125 mm		3.428,0					18 €	61.219 €	
TOTAL DO CAPÍTULO IV									398.646 €
CAPÍTULO V - Reservatórios									
1. Construção do reservatório em betão (ETAR), incluindo pintura interior de protecção (tinta CIN: ARALCIN COALTAR HB).	2		D _{int} (m)	m		m ³			
			6,91	4		150	133.200 €		266.400 €
TOTAL DO CAPÍTULO V									266.400 €

CUSTO TOTAL DA OBRA **1.671.711 €**

DESIGNAÇÃO	Partes Semelhantes	MEDICÃO					ORÇAMENTO		
		DIMENSÕES			QUANTIDADES		PREÇOS		
		Comprimento	Largura	Altura	Parciais	Totais	Unitário	Parciais	Totais
CAPÍTULO I - Trabalhos Preparatórios									
1. Sinalização provisória dos trabalhos, designadamente placas indicadoras de empreitada, incluindo fornecimento, colocação e manutenção	1						750 €		750 €
2. Conservação durante o prazo da empreitada em adequadas condições de circulação, de trajectos existentes e dos itinerários de desvio de tráfego, bem como zonas de circulação pedonal (incluindo passadiços, vedações de protecção. etc...)	1						1.000 €		1.000 €
3. Montagem e desmontagem do estaleiro da empreitada, incluindo limpeza da área circundante.	1						1.500 €		1.500 €
4. Placard nas medidas regulamentares com as características da obra e entidades intervenientes, a instalar em local bem visível, a designar.	1						400 €		400 €
TOTAL DO CAPÍTULO I									3.650 €
CAPÍTULO II - Abertura e tapamento de valas									
1. Levantamento e reposição de pavimento em betuminoso, incluindo escolha e arrumação dos materiais		m	m	m	m ²	m ²			
- Ø32 mm		7.142,9	0,532	0,30	1.140,00		13 €	89.857 €	
- Ø63 mm		17.934,0	0,563	0,30	3.029,05		16 €	281.922 €	
- Ø75 mm		268,0	0,575	0,30	46,23		16 €	4.240 €	
- Ø90 mm		3.551,0	0,590	0,30	628,53		16 €	56.674 €	
- Ø110 mm		5.352,0	0,610	0,30	979,42		16 €	86.542 €	
- Ø125 mm		3428,0	0,625	0,30	642,75		16 €	56.528 €	
						6.465,98			575.763 €

DESIGNAÇÃO	Partes Semelhantes	DIMENSÕES			QUANTIDADES		PREÇOS		
		Comprimento	Largura	Altura	Parciais	Totais	Unitário	Parciais	Totais
2. Movimento de terras, incluindo regularização dos fundos das valas e		m	m	m	m³	m³			
- Ø32 mm		7.142,9	0,532	1,03	3.921,60		9 €	63.571 €	
- Ø63 mm		17.934,0	0,563	1,06	10.732,94		11 €	199.605 €	
- Ø75 mm		268,0	0,575	1,08	165,66		11 €	3.058 €	
- Ø90 mm		3.551,0	0,590	1,09	2.283,65		12 €	41.014 €	
- Ø110 mm		5.352,0	0,610	1,11	3.623,84		12 €	63.903 €	
- Ø125 mm		3.428,0	0,625	1,13	2.410,31		12 €	42.713 €	
						23.138,00			413.865 €
3. Transporte dos produtos sobrantes, a depósito, incluindo carga, descarga e regularização:	1,20	m	D _{ext} (m)		m³	m³	10 €		
- Ø32 mm		7.142,9	0,082		45,27			453 €	
- Ø63 mm		17.934,0	0,113		215,83			2.158 €	
- Ø75 mm		268,0	0,125		3,95			39 €	
- Ø90 mm		3.551,0	0,140		65,60			656 €	
- Ø110 mm		5.352,0	0,160		129,13			1.291 €	
- Ø125 mm		3.428,0	0,175		98,94			989 €	
						558,71			5.587 €
TOTAL DO CAPÍTULO II									995.215 €
CAPÍTULO III - Equipamento									
1. Bomba Doseadora (<i>Dosapro Milton Roy</i>)	14						500 €	7.000 €	
2. Sistema de comando e automatismos	7						700 €	4.900 €	
3. Cuba de polietileno capacidade 5m3	7						1.000 €	7.000 €	
4. Acessórios e tubos de injeção de reagente	7						200 €	1.400 €	
5. Trabalhos de instalação	7						1.000 €	7.000 €	
									27.300 €
TOTAL DO CAPÍTULO II									27.300 €

DESIGNAÇÃO	Partes Semelhantes	DIMENSÕES			QUANTIDADES		PREÇOS		
		Comprimento	Largura	Altura	Parciais	Totais	Unitário	Parciais	Totais
CAPÍTULO IV - Tubagem e acessórios									
1. Fornecimento e assentamento de condutas de PEAD PE100 PN10 (Pipelife), incluindo acessórios:		m							
- Ø32 mm		7.142,9					15 €	107.000 €	
- Ø63 mm		17.934,0					6 €	114.173 €	
- Ø75 mm		268,0					8 €	2.152 €	
- Ø90 mm		3.551,0					10 €	37.121 €	
- Ø110 mm		5.352,0					14 €	76.981 €	
- Ø125 mm		3.428,0					18 €	61.219 €	
TOTAL DO CAPÍTULO IV									398.646 €
CAPÍTULO V - Reservatórios									
1. Construção do reservatório em betão (ETAR), incluindo pintura interior de protecção (tinta CIN: ARALCIN COALTAR HB).	2		D _{int} (m)	m		m ³			
			6,91	4		150	133.200 €		266.400 €
TOTAL DO CAPÍTULO V									266.400 €

CUSTO TOTAL DA OBRA **1.691.211 €**

ANEXO II

Análise Económica

Custos - Cenário 1

Taxa de Atualização = 3,00%		Empréstimo ao Banco			Manutenção €/ano	Pessoal	Despesas Representação €/ano	Custo Aquisição Água	Custo Aquisição Água c\ perdas	Controlo Qualidade €/ano	TOTAL	
Taxa de Juro = 5,00%		Prestações empréstimo	Juros do empréstimo	Capital em dívida								
Custo Instalação	1 671 711 €				Ano i			1,00%	€/ano	8 796 €	0,40 €/m³	€/Ano
		1	41 793 €	83 586 €	1 629 918 €	16 717 €	51 602 €	8 796 €	0,40 €/m³	33 638 €	6 105 €	242 236 €
		2	41 793 €	81 496 €	1 588 125 €	17 219 €	53 150 €	9 060 €	0,41 €/m³	35 460 €	6 288 €	244 464 €
		3	41 793 €	79 406 €	1 546 332 €	17 735 €	54 744 €	9 332 €	0,42 €/m³	37 360 €	6 476 €	246 846 €
		4	41 793 €	77 317 €	1 504 539 €	18 267 €	56 386 €	9 612 €	0,44 €/m³	39 342 €	6 671 €	249 387 €
		5	41 793 €	75 227 €	1 462 747 €	18 815 €	58 078 €	9 900 €	0,45 €/m³	41 410 €	6 871 €	252 093 €
		6	41 793 €	73 137 €	1 420 954 €	19 380 €	59 820 €	10 197 €	0,46 €/m³	43 566 €	7 077 €	254 970 €
		7	41 793 €	71 048 €	1 379 161 €	19 961 €	61 615 €	10 503 €	0,48 €/m³	45 814 €	7 289 €	258 023 €
		8	41 793 €	68 958 €	1 337 368 €	20 560 €	63 463 €	10 818 €	0,49 €/m³	48 158 €	7 508 €	261 258 €
		9	41 793 €	66 868 €	1 295 576 €	21 177 €	65 367 €	11 143 €	0,51 €/m³	50 602 €	7 733 €	264 683 €
		10	41 793 €	64 779 €	1 253 783 €	21 812 €	67 328 €	11 477 €	0,52 €/m³	53 149 €	7 965 €	268 302 €
		11	41 793 €	62 689 €	1 211 990 €	22 466 €	69 348 €	11 821 €	0,54 €/m³	55 803 €	8 204 €	272 124 €
		12	41 793 €	60 600 €	1 170 197 €	23 140 €	71 429 €	12 176 €	0,55 €/m³	58 568 €	8 450 €	276 155 €
		13	41 793 €	58 510 €	1 128 405 €	23 835 €	73 571 €	12 541 €	0,57 €/m³	61 449 €	8 704 €	280 403 €
		14	41 793 €	56 420 €	1 086 612 €	24 550 €	75 779 €	12 917 €	0,59 €/m³	64 450 €	8 965 €	284 874 €
		15	41 793 €	54 331 €	1 044 819 €	25 286 €	78 052 €	13 305 €	0,61 €/m³	67 576 €	9 234 €	289 576 €
		16	41 793 €	52 241 €	1 003 026 €	26 045 €	80 393 €	13 704 €	0,62 €/m³	70 832 €	9 511 €	294 519 €
		17	41 793 €	50 151 €	961 234 €	26 826 €	82 805 €	14 115 €	0,64 €/m³	74 222 €	9 796 €	299 709 €
		18	41 793 €	48 062 €	919 441 €	27 631 €	85 289 €	14 538 €	0,66 €/m³	77 752 €	10 090 €	305 155 €
		19	41 793 €	45 972 €	877 648 €	28 460 €	87 848 €	14 975 €	0,68 €/m³	81 427 €	10 393 €	310 867 €
		20	41 793 €	43 882 €	835 855 €	29 314 €	90 484 €	15 424 €	0,70 €/m³	85 252 €	10 705 €	316 853 €
		21	41 793 €	41 793 €	794 062 €	30 193 €	93 198 €	15 887 €	0,72 €/m³	89 233 €	11 026 €	323 122 €
		22	41 793 €	39 703 €	752 270 €	31 099 €	95 994 €	16 363 €	0,74 €/m³	93 377 €	11 356 €	329 685 €
		23	41 793 €	37 613 €	710 477 €	32 032 €	98 874 €	16 854 €	0,77 €/m³	97 689 €	11 697 €	336 552 €
		24	41 793 €	35 524 €	668 684 €	32 993 €	101 840 €	17 360 €	0,79 €/m³	102 176 €	12 048 €	343 733 €
		25	41 793 €	33 434 €	626 891 €	33 982 €	104 895 €	17 880 €	0,81 €/m³	106 844 €	12 409 €	351 238 €
		26	41 793 €	31 345 €	585 099 €	35 002 €	108 042 €	18 417 €	0,84 €/m³	111 700 €	12 782 €	359 080 €
		27	41 793 €	29 255 €	543 306 €	36 052 €	111 283 €	18 969 €	0,86 €/m³	116 751 €	13 165 €	367 269 €
		28	41 793 €	27 165 €	501 513 €	37 134 €	114 622 €	19 538 €	0,89 €/m³	122 005 €	13 560 €	375 817 €
		29	41 793 €	25 076 €	459 720 €	38 248 €	118 060 €	20 125 €	0,92 €/m³	127 469 €	13 967 €	384 737 €
		30	41 793 €	22 986 €	417 928 €	39 395 €	121 602 €	20 728 €	0,94 €/m³	133 151 €	14 386 €	394 041 €
		31	41 793 €	20 896 €	376 135 €	40 577 €	125 250 €	21 350 €	0,97 €/m³	139 059 €	14 818 €	403 743 €
		32	41 793 €	18 807 €	334 342 €	41 794 €	129 008 €	21 991 €	1,00 €/m³	145 202 €	15 262 €	413 856 €
		33	41 793 €	16 717 €	292 549 €	43 048 €	132 878 €	22 650 €	1,03 €/m³	151 588 €	15 720 €	424 394 €
		34	41 793 €	14 627 €	250 757 €	44 339 €	136 864 €	23 330 €	1,06 €/m³	158 227 €	16 192 €	435 372 €
		35	41 793 €	12 538 €	208 964 €	45 670 €	140 970 €	24 030 €	1,09 €/m³	165 127 €	16 677 €	446 805 €
		36	41 793 €	10 448 €	167 171 €	47 040 €	145 200 €	24 751 €	1,13 €/m³	172 300 €	17 178 €	458 708 €
		37	41 793 €	8 359 €	125 378 €	48 451 €	149 556 €	25 493 €	1,16 €/m³	179 754 €	17 693 €	471 097 €
		38	41 793 €	6 269 €	83 586 €	49 904 €	154 042 €	26 258 €	1,19 €/m³	187 500 €	18 224 €	483 990 €
		39	41 793 €	4 179 €	41 793 €	51 401 €	158 663 €	27 046 €	1,23 €/m³	195 549 €	18 770 €	497 402 €
		40	41 793 €	2 090 € -	0 €	52 944 €	163 423 €	27 857 €	1,27 €/m³	206 409 €	19 334 €	513 849 €

Receitas - Cenário 1

Ano i	Volume de água vendida m3/ano	Custo por m3	Água vendida		Aluguer Contador 60,00 €	Ligação Ramais 312 515 €	Benefícios	Benefícios	IRC	LUCRO anual
			Preço s/ IVA	Preço c/ IVA			(s/ IVA)	-	a pagar	
			0,80 €/m³	5%				Custos	25%	
1	70080	3,46 €	0,80 €	0,84 €	42 857 €	312 515 €	411 436 €	169 200 €	42 300 €	126 900 €
2	71723	3,41 €	0,82 €	0,87 €	44 143 €	-	103 242 € -	141 222 €	- € -	141 222 €
3	73365	3,36 €	0,85 €	0,89 €	45 467 €	-	107 733 € -	139 113 €	- € -	139 113 €
4	75008	3,32 €	0,87 €	0,92 €	46 831 €	-	112 401 € -	136 986 €	- € -	136 986 €
5	76650	3,29 €	0,90 €	0,95 €	48 236 €	-	117 252 € -	134 841 €	- € -	134 841 €
6	78293	3,26 €	0,93 €	0,97 €	49 683 €	-	122 293 € -	132 677 €	- € -	132 677 €
7	79935	3,23 €	0,96 €	1,00 €	51 174 €	-	127 531 € -	130 492 €	- € -	130 492 €
8	81578	3,20 €	0,98 €	1,03 €	52 709 €	-	132 973 € -	128 286 €	- € -	128 286 €
9	83220	3,18 €	1,01 €	1,06 €	54 290 €	-	138 627 € -	126 056 €	- € -	126 056 €
10	84863	3,16 €	1,04 €	1,10 €	55 919 €	-	144 500 € -	123 803 €	- € -	123 803 €
11	86505	3,15 €	1,08 €	1,13 €	57 596 €	-	150 601 € -	121 523 €	- € -	121 523 €
12	88148	3,13 €	1,11 €	1,16 €	59 324 €	-	156 938 € -	119 217 €	- € -	119 217 €
13	89790	3,12 €	1,14 €	1,20 €	61 104 €	-	163 519 € -	116 883 €	- € -	116 883 €
14	91433	3,12 €	1,17 €	1,23 €	62 937 €	-	170 355 € -	114 519 €	- € -	114 519 €
15	93075	3,11 €	1,21 €	1,27 €	64 825 €	-	177 453 € -	112 124 €	- € -	112 124 €
16	94718	3,11 €	1,25 €	1,31 €	66 770 €	-	184 823 € -	109 695 €	- € -	109 695 €
17	96360	3,11 €	1,28 €	1,35 €	68 773 €	-	192 477 € -	107 232 €	- € -	107 232 €
18	98003	3,11 €	1,32 €	1,39 €	70 836 €	-	200 423 € -	104 732 €	- € -	104 732 €
19	99645	3,12 €	1,36 €	1,43 €	72 961 €	-	208 673 € -	102 194 €	- € -	102 194 €
20	101288	3,13 €	1,40 €	1,47 €	75 150 €	-	217 237 € -	99 616 €	- € -	99 616 €
21	102930	3,14 €	1,44 €	1,52 €	77 405 €	-	226 127 € -	96 995 €	- € -	96 995 €
22	104573	3,15 €	1,49 €	1,56 €	79 727 €	-	235 355 € -	94 330 €	- € -	94 330 €
23	106215	3,17 €	1,53 €	1,61 €	82 119 €	-	244 934 € -	91 618 €	- € -	91 618 €
24	107858	3,19 €	1,58 €	1,66 €	84 582 €	-	254 875 € -	88 858 €	- € -	88 858 €
25	109500	3,21 €	1,63 €	1,71 €	87 120 €	-	265 193 € -	86 046 €	- € -	86 046 €
26	111143	3,23 €	1,68 €	1,76 €	89 733 €	-	275 900 € -	83 180 €	- € -	83 180 €
27	112785	3,26 €	1,73 €	1,81 €	92 425 €	-	287 010 € -	80 258 €	- € -	80 258 €
28	114428	3,28 €	1,78 €	1,87 €	95 198 €	-	298 539 € -	77 277 €	- € -	77 277 €
29	116070	3,31 €	1,83 €	1,92 €	98 054 €	-	310 502 € -	74 235 €	- € -	74 235 €
30	117713	3,35 €	1,89 €	1,98 €	100 996 €	-	322 913 € -	71 128 €	- € -	71 128 €
31	119355	3,38 €	1,94 €	2,04 €	104 026 €	-	335 790 € -	67 953 €	- € -	67 953 €
32	120998	3,42 €	2,00 €	2,10 €	107 146 €	-	349 149 € -	64 707 €	- € -	64 707 €
33	122640	3,46 €	2,06 €	2,16 €	110 361 €	-	363 007 € -	61 387 €	- € -	61 387 €
34	124283	3,50 €	2,12 €	2,23 €	113 672 €	-	377 383 € -	57 990 €	- € -	57 990 €
35	125925	3,55 €	2,19 €	2,29 €	117 082 €	-	392 294 € -	54 511 €	- € -	54 511 €
36	127568	3,60 €	2,25 €	2,36 €	120 594 €	-	407 760 € -	50 948 €	- € -	50 948 €
37	129210	3,65 €	2,32 €	2,43 €	124 212 €	-	423 801 € -	47 296 €	- € -	47 296 €
38	130853	3,70 €	2,39 €	2,51 €	127 938 €	-	440 438 € -	43 552 €	- € -	43 552 €
39	132495	3,75 €	2,46 €	2,58 €	131 776 €	-	457 691 € -	39 711 €	- € -	39 711 €
40	135780	3,78 €	2,53 €	2,66 €	135 730 €	-	479 745 € -	34 104 €	- € -	34 104 €

Custos - Cenário 5

Taxa de Actualização = 3,00%		Empréstimo ao Banco			Manutenção	Pessoal	Despesas de	Custo Aquisição	Custo Aquisição	Controlo Qualidade	TOTAL	
Taxa de Juro = 5,00%		Prestações	Juros do	Capital	equipamentos	1,00%	representação	Água	Água c\ perdas	€/ano		
Custo instalação	1 948 159 €	Ano i	empréstimo	empréstimo				em dívida	0,40 €/m³	€/Ano		6105 €/m³
		1	48 704 €	97 408 €	1 899 455 €	19 482 €	51 602 €	8 796 €	0,40 €/m³	13 596 €	6 105 €	245 691 €
		2	48 704 €	94 973 €	1 850 751 €	20 066 €	53 150 €	9 060 €	0,41 €/m³	17 914 €	6 288 €	250 154 €
		3	48 704 €	92 538 €	1 802 047 €	20 668 €	54 744 €	9 332 €	0,42 €/m³	22 647 €	6 476 €	255 109 €
		4	48 704 €	90 102 €	1 753 343 €	21 288 €	56 386 €	9 612 €	0,44 €/m³	27 823 €	6 671 €	260 586 €
		5	48 704 €	87 667 €	1 704 639 €	21 927 €	58 078 €	9 900 €	0,45 €/m³	33 467 €	6 871 €	266 614 €
		6	48 704 €	85 232 €	1 655 935 €	22 584 €	59 820 €	10 197 €	0,46 €/m³	39 609 €	7 077 €	273 224 €
		7	48 704 €	82 797 €	1 607 231 €	23 262 €	61 615 €	10 503 €	0,48 €/m³	46 280 €	7 289 €	280 450 €
		8	48 704 €	80 362 €	1 558 527 €	23 960 €	63 463 €	10 818 €	0,49 €/m³	53 511 €	7 508 €	288 325 €
		9	48 704 €	77 926 €	1 509 823 €	24 679 €	65 367 €	11 143 €	0,51 €/m³	61 335 €	7 733 €	296 887 €
		10	48 704 €	75 491 €	1 461 119 €	25 419 €	67 328 €	11 477 €	0,52 €/m³	64 420 €	7 965 €	300 804 €
		11	48 704 €	73 056 €	1 412 415 €	26 182 €	69 348 €	11 821 €	0,54 €/m³	73 270 €	8 204 €	310 585 €
		12	48 704 €	70 621 €	1 363 711 €	26 967 €	71 429 €	12 176 €	0,55 €/m³	76 899 €	8 450 €	315 245 €
		13	48 704 €	68 186 €	1 315 007 €	27 776 €	73 571 €	12 541 €	0,57 €/m³	86 886 €	8 704 €	326 367 €
		14	48 704 €	65 750 €	1 266 303 €	28 609 €	75 779 €	12 917 €	0,59 €/m³	91 127 €	8 965 €	331 851 €
		15	48 704 €	63 315 €	1 217 599 €	29 468 €	78 052 €	13 305 €	0,61 €/m³	102 368 €	9 234 €	344 446 €
		16	48 704 €	60 880 €	1 168 895 €	30 352 €	80 393 €	13 704 €	0,62 €/m³	107 297 €	9 511 €	350 841 €
		17	48 704 €	58 445 €	1 120 191 €	31 262 €	82 805 €	14 115 €	0,64 €/m³	119 925 €	9 796 €	365 052 €
		18	48 704 €	56 010 €	1 071 487 €	32 200 €	85 289 €	14 538 €	0,66 €/m³	125 625 €	10 090 €	372 457 €
		19	48 704 €	53 574 €	1 022 783 €	33 166 €	87 848 €	14 975 €	0,68 €/m³	139 782 €	10 393 €	388 442 €
		20	48 704 €	51 139 €	974 079 €	34 161 €	90 484 €	15 424 €	0,70 €/m³	146 345 €	10 705 €	396 961 €
		21	48 704 €	48 704 €	925 375 €	35 186 €	93 198 €	15 887 €	0,72 €/m³	162 187 €	11 026 €	414 891 €
		22	48 704 €	46 269 €	876 671 €	36 241 €	95 994 €	16 363 €	0,74 €/m³	169 714 €	11 356 €	424 642 €
		23	48 704 €	43 834 €	827 967 €	37 329 €	98 874 €	16 854 €	0,77 €/m³	187 411 €	11 697 €	444 702 €
		24	48 704 €	41 398 €	779 264 €	38 449 €	101 840 €	17 360 €	0,79 €/m³	196 014 €	12 048 €	455 813 €
		25	48 704 €	38 963 €	730 560 €	39 602 €	104 895 €	17 880 €	0,81 €/m³	211 438 €	12 409 €	473 892 €
		26	48 704 €	36 528 €	681 856 €	40 790 €	108 042 €	18 417 €	0,84 €/m³	221 043 €	12 782 €	486 306 €
		27	48 704 €	34 093 €	633 152 €	42 014 €	111 283 €	18 969 €	0,86 €/m³	233 393 €	13 165 €	501 621 €
		28	48 704 €	31 658 €	584 448 €	43 274 €	114 622 €	19 538 €	0,89 €/m³	243 891 €	13 560 €	515 247 €
		29	48 704 €	29 222 €	535 744 €	44 572 €	118 060 €	20 125 €	0,92 €/m³	254 809 €	13 967 €	529 460 €
		30	48 704 €	26 787 €	487 040 €	45 910 €	121 602 €	20 728 €	0,94 €/m³	266 162 €	14 386 €	544 280 €
		31	48 704 €	24 352 €	438 336 €	47 287 €	125 250 €	21 350 €	0,97 €/m³	277 968 €	14 818 €	559 729 €
		32	48 704 €	21 917 €	389 632 €	48 706 €	129 008 €	21 991 €	1,00 €/m³	290 242 €	15 262 €	575 829 €
		33	48 704 €	19 482 €	340 928 €	50 167 €	132 878 €	22 650 €	1,03 €/m³	303 003 €	15 720 €	592 603 €
		34	48 704 €	17 046 €	292 224 €	51 672 €	136 864 €	23 330 €	1,06 €/m³	316 268 €	16 192 €	610 076 €
		35	48 704 €	14 611 €	243 520 €	53 222 €	140 970 €	24 030 €	1,09 €/m³	330 056 €	16 677 €	628 270 €
		36	48 704 €	12 176 €	194 816 €	54 819 €	145 200 €	24 751 €	1,13 €/m³	344 387 €	17 178 €	647 213 €
		37	48 704 €	9 741 €	146 112 €	56 463 €	149 556 €	25 493 €	1,16 €/m³	359 280 €	17 693 €	666 930 €
		38	48 704 €	7 306 €	97 408 €	58 157 €	154 042 €	26 258 €	1,19 €/m³	374 757 €	18 224 €	687 448 €
		39	48 704 €	4 870 €	48 704 €	59 902 €	158 663 €	27 046 €	1,23 €/m³	390 840 €	18 770 €	708 796 €
		40	48 704 €	2 435 €	- 0 €	61 699 €	163 423 €	27 857 €	1,27 €/m³	416 702 €	19 334 €	740 154 €

Receitas - Cenário 5

Ano i	Adesão	Volume Vendido	Custo por m3	Água vendida		Aluguer contador Com adesao	Ligação Ramais	Benefícios	Benefícios	IRC	LUCRO
		Com adesao m3/ano		Preço s/ IVA	Preço c/ IVA 5%			(s/ IVA)	- Custos	a pagar 25%	
1	20%	28324	8,67 €	0,80 €	0,84 €	17 143 €	113 642 €	153 444 € -	92 247 €	- € -	92 247 €
2	25%	36233	6,90 €	0,82 €	0,87 €	22 071 €	29 263 €	81 190 € -	168 963 €	- € -	168 963 €
3	30%	44473	5,74 €	0,85 €	0,89 €	27 280 €	30 141 €	95 166 € -	159 943 €	- € -	159 943 €
4	35%	53045	4,91 €	0,87 €	0,92 €	32 782 €	31 045 €	110 198 € -	150 388 €	- € -	150 388 €
5	40%	61948	4,30 €	0,90 €	0,95 €	38 589 €	31 976 €	126 343 € -	140 270 €	- € -	140 270 €
6	45%	71182	3,84 €	0,93 €	0,97 €	44 715 €	32 936 €	143 666 € -	129 558 €	- € -	129 558 €
7	50%	80747	3,47 €	0,96 €	1,00 €	51 174 €	33 924 €	162 230 € -	118 219 €	- € -	118 219 €
8	55%	90644	3,18 €	0,98 €	1,03 €	57 980 €	34 941 €	182 105 € -	106 220 €	- € -	106 220 €
9	60%	100871	2,94 €	1,01 €	1,06 €	65 148 €	35 990 €	203 362 € -	93 524 €	- € -	93 524 €
10	60%	102859	2,92 €	1,04 €	1,10 €	67 103 €	- €	174 469 € -	126 335 €	- € -	126 335 €
11	65%	113583	2,73 €	1,08 €	1,13 €	74 875 €	38 181 €	235 174 € -	75 411 €	- € -	75 411 €
12	65%	115736	2,72 €	1,11 €	1,16 €	77 122 €	- €	205 287 € -	109 959 €	- € -	109 959 €
13	70%	126958	2,57 €	1,14 €	1,20 €	85 546 €	40 507 €	270 862 € -	55 506 €	- € -	55 506 €
14	70%	129277	2,57 €	1,17 €	1,23 €	88 112 €	- €	239 990 € -	91 861 €	- € -	91 861 €
15	75%	140995	2,44 €	1,21 €	1,27 €	97 238 €	42 973 €	310 825 € -	33 620 €	- € -	33 620 €
16	75%	143479	2,45 €	1,25 €	1,31 €	100 155 €	- €	278 984 € -	71 857 €	- € -	71 857 €
17	80%	155694	2,34 €	1,28 €	1,35 €	110 037 €	45 590 €	355 503 € -	9 550 €	- € -	9 550 €
18	80%	158344	2,35 €	1,32 €	1,39 €	113 338 €	- €	322 713 € -	49 743 €	- € -	49 743 €
19	85%	171056	2,27 €	1,36 €	1,43 €	124 034 €	48 367 €	405 371 €	16 929 €	4 232 €	12 697 €
20	85%	173872	2,28 €	1,40 €	1,47 €	127 755 €	- €	371 664 € -	25 297 €	- € -	25 297 €
21	90%	187081	2,22 €	1,44 €	1,52 €	139 329 €	51 312 €	460 952 €	46 061 €	11 515 €	34 546 €
22	90%	190062	2,23 €	1,49 €	1,56 €	143 508 €	- €	426 365 €	1 723 €	431 €	1 293 €
23	95%	203768	2,18 €	1,53 €	1,61 €	156 026 €	54 437 €	522 815 €	78 112 €	19 528 €	58 584 €
24	95%	206914	2,20 €	1,58 €	1,66 €	160 706 €	- €	487 397 €	31 584 €	7 896 €	23 688 €
25	98%	216695	2,19 €	1,63 €	1,71 €	170 755 €	34 652 €	557 803 €	83 911 €	20 978 €	62 933 €
26	98%	219941	2,21 €	1,68 €	1,76 €	175 877 €	- €	544 283 €	57 977 €	14 494 €	43 483 €
27	99%	225464	2,22 €	1,73 €	1,81 €	183 002 €	12 254 €	584 244 €	82 623 €	20 656 €	61 967 €
28	99%	228744	2,25 €	1,78 €	1,87 €	188 492 €	- €	594 977 €	79 730 €	19 932 €	59 797 €
29	99%	232023	2,28 €	1,83 €	1,92 €	194 147 €	- €	618 828 €	89 369 €	22 342 €	67 026 €
30	99%	235302	2,31 €	1,89 €	1,98 €	199 971 €	- €	643 575 €	99 296 €	24 824 €	74 472 €
31	99%	238581	2,35 €	1,94 €	2,04 €	205 971 €	- €	669 250 €	109 521 €	27 380 €	82 141 €
32	99%	241861	2,38 €	2,00 €	2,10 €	212 150 €	- €	695 886 €	120 057 €	30 014 €	90 043 €
33	99%	245140	2,42 €	2,06 €	2,16 €	218 514 €	- €	723 518 €	130 915 €	32 729 €	98 186 €
34	99%	248419	2,46 €	2,12 €	2,23 €	225 070 €	- €	752 182 €	142 107 €	35 527 €	106 580 €
35	99%	251698	2,50 €	2,19 €	2,29 €	231 822 €	- €	781 915 €	153 644 €	38 411 €	115 233 €
36	99%	254978	2,54 €	2,25 €	2,36 €	238 776 €	- €	812 754 €	165 541 €	41 385 €	124 156 €
37	99%	258257	2,58 €	2,32 €	2,43 €	245 940 €	- €	844 740 €	177 810 €	44 453 €	133 358 €
38	99%	261536	2,63 €	2,39 €	2,51 €	253 318 €	- €	877 913 €	190 466 €	47 616 €	142 849 €
39	99%	264815	2,68 €	2,46 €	2,58 €	260 917 €	- €	912 317 €	203 522 €	50 880 €	152 641 €
40	100%	274115	2,70 €	2,53 €	2,66 €	271 459 €	17 995 €	983 958 €	243 804 €	60 951 €	182 853 €