

# **OPTIMIZAÇÃO NA ÁREA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Custo mínimo na concepção do Traçado Ótimo  
de um Sistema Predial de Abastecimento de Água

**ANTÓNIO JOSÉ BORGES DE BRITO**

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

---

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

JUNHO DE 2008

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

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

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

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

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

🌐 <http://www.fe.up.pt>

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

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

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

A toda a minha família  
e amigos

*Optimização na Área da Construção Civil.*

*Custo mínimo na concepção do Traçado Ótimo de um Sistema Predial de Abastecimento de Água*

---

## RESUMO

Muitos autores e em muita bibliografia aborda-se a questão da optimização apenas como um dimensionamento de custo mínimo no qual se aliam factores como a qualidade, entre outros, a fim de se fazer o referido dimensionamento. A preexistência de um traçado a dimensionar é transversal a todas estas abordagens. Os programas informáticos comerciais presentes no mercado não são excepção. No entanto o objectivo principal desta tese é criar um traçado de raiz tendo como base uma planta em DAC (desenho assistido por computador) com as possibilidades de localização das tubagens.

Com o objectivo de criar de raiz um dado traçado tendo por base uma planta DAC, criaram-se programas inseridos numa folha de cálculo Excel, por meio de Macros na linguagem VBA, subjacentes a dois modelos distintos. Ambos os modelos possibilitam a interacção entre o AutoCAD e o próprio programa de cálculo o que facilita o processo de dimensionamento uma vez que não é necessário a repetição desta malha no próprio programa cálculo. Para uma primeira abordagem à problemática se desenvolveu um primeiro modelo, o qual integra um programa que faz o dimensionamento de um traçado já existente, à semelhança dos programas informáticos comerciais, mas que possibilita a optimização das pressões. Quanto ao segundo modelo, este integra uma ferramenta muito mais poderosa no que diz respeito à criação de um traçado provindo de uma malha fechada de possibilidades. Pelo facto de ser uma malha fechada encerra em si uma complexidade muito superior, uma vez que para além de outras especificidades, o estudo da “Reversibilidade do Escoamento” é uma realidade. Este estudo prevê a possibilidade de num dado troço do escoamento, este inverter de sentido o que acarreta uma alteração significativa no traçado até então implantado.

Mais especificamente quanto aos programas, estes funcionam muito à base de processos cíclicos e iterativos tendo como base a Teoria de Grafos e a Teoria da Decisão. Desta forma, após verificação dos primeiros trajectos possíveis de ligação até à origem, o programa implanta o trajecto de entre todos os possíveis que seja mais económico. Repete este processo até que todos os elementos de consumo hidráulico constantes na planta estejam interligados entre si e até à origem.

Pelos resultados obtidos chegou-se à conclusão que o programa desenvolvido era fiável e que as soluções eram as esperadas pelo que validou a concepção e a algoritmia por detrás do programa. Conclui-se também que incrementava mais-valias nomeadamente quando comparados com os programas informáticos comerciais, no que diz respeito a integrar o AutoCAD de forma funcional ao programa, e à optimização das pressões num determinado traçado. Saliente-se ainda que se conclui também que através de uma denominada “Iteração Intermédia” se conseguiria chegar a traçados mais económicos, pelo que na impossibilidade de inserir, por motivos diversos, esta ferramenta à Macro em VBA, se explica em termos conceptuais e se representam os resultados expectáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Optimização, Custo Mínimo, Cálculo Hidráulico, Traçado, Sistema de Abastecimento de Água.



## ABSTRACT

According to a wide range of authors, the theme of optimisation is only referred to as a minimum cost conception in which some factors such as ‘quality’ come together in order to do the referred calculations. The pre-existence of a layout based on route lines to be dimensioned is transversal to all the other approaches. The commercially available application programmes in the market are not an exception. In fact, the main purpose of this thesis is to create a root path that will have as its base the CAD plant (Computer Aided Design) with the possibilities to place the tubes on it.

With the purpose to create from the beginning a layout route having as its base the CAD plant, programs were created and inserted in an Excel page, through the Macros on VBA language, underlying two distant models. Both models enable the interaction between AutoCAD and the calculation program that makes the process easier since there is no need for the repetition of drawing the CAD plant again for the calculation program. The first approach to this problem led to the development of the first model, which integrates the program that makes a development planning with the existent route, as the commercially available programmes do, however this particular program allows the water pressure optimisation. According to the second model, this completes a much more powerful tool for the creation of a new path route based on close circuits. Due to the fact that the circuits are closed the complexity is increased, making the study of the “Reversibility of the Drainage” (“*Reversibilidade do Escoamento*”) a reality. This study previews the possibility to invert the way of drainage in any occasion.

This work is based on the cyclical and iterative processes having as grounding the Graph Theory and the Decision Theory. Thus, after checking the first possible paths to reach the source, the program implants the most economic route. It repeats this process until all the elements of hydraulic consumption on the plant are connected between them and the source.

According to the results, we may conclude that the developed program is reliable and that the solutions were as expected, validating the concept and the algorithm behind the program. We can also conclude that it is a good contribution to the optimization knowledge based on hydraulics calculus precisely by joining the AutoCAD as a functional program and the optimisation of the water pressure, especially when compared with the informatics commercial programmes. Through the “Intermediate Iteration” (“*Iteração Intermédia*”) it is possible to find the most economical route. Unfortunately there was no possibility to insert this concept on Macro. Despite this, the conceptual idea was explained and the expected results were represented.

KEYWORDS: optimisation, minimum cost, hydraulic calculus, route path, water supply system



## **ÍNDICE GERAL**

<b>RESUMO</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>ÍNDICE</b> .....	v
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiii
<b>LISTA DE FLUXOGRAMAS</b> .....	xv
<b>LISTA DE EQUAÇÕES</b> .....	xvii
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	xix
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	xxi
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	xxiii
<b>ALGUMAS TRADUÇÕES</b> .....	xxiv
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. OBJECTIVOS .....	1
1.2. PROBLEMÁTICA .....	2
1.3. CAMPO DE APLICAÇÃO .....	2
1.4. MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO .....	3
1.5. ORGANIZAÇÃO .....	3
<b>2. REVISÃO E RECENSEAMENTO BIBLIOGRÁFICO</b> .....	5
2.1. INTRODUÇÃO .....	5
2.2. PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO .....	5
2.3. O ESTADO DE ARTE .....	7
2.4. CONCLUSÃO .....	10
<b>3. CRIAÇÃO DAS BASES DE CÁLCULO</b> .....	11
3.1. INTRODUÇÃO .....	11
3.2. PONTO DE PARTIDA PARA A CRIAÇÃO DAS BASES DE CÁLCULO .....	11
3.3. DESCRIÇÃO DAS BASES DE CÁLCULO .....	12
3.3.1. CENÁRIO A) .....	12
3.3.2. CENÁRIO B) .....	14
3.4. CONCLUSÃO .....	15

<b>4. MÉTODO PROPOSTO. PROGRAMAS DE RESOLUÇÃO PROPOSTOS (PRP'S)</b> .....	17
<b>4.1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>4.2. MOTIVAÇÕES</b> .....	18
<b>4.3. BASES DOS PRP'S</b> .....	19
4.3.1. EXPORTAÇÃO DOS DADOS DO AUTOCAD_2008.....	19
4.3.2. IMPORTAÇÃO DOS DADOS PARA O EXCEL .....	20
4.3.3. BASES DA PRÓPRIA ALGORITMIA E PROGRAMAÇÃO .....	20
4.3.3.1. A Teoria de Decisão .....	20
4.3.3.2. O Cálculo Hidráulico .....	21
<b>4.4. TEORIA SUBJACENTE AO CÁLCULO HIDRÁULICO</b> .....	22
4.4.1. PROCESSO GENERALIZADO DE CÁLCULO HIDRÁULICO.....	22
4.4.2. DISPOSIÇÕES TEÓRICAS.....	23
4.4.2.1. Caudais Instantâneos .....	23
4.4.2.2. Caudais Acumulados.....	23
4.4.2.3. Caudais de Dimensionamento ou Caudais de Cálculo .....	23
4.4.2.4. Velocidades .....	25
4.4.2.5. Diâmetro Teórico de Cálculo para Velocidade Máxima .....	25
4.4.2.6. Diâmetro Interior, Diâmetro Comercial e Preço por metro de Tubagem.....	25
4.4.2.7. Velocidade Real.....	25
4.4.2.8. Custo do Traçado .....	25
4.4.2.9. Perdas de Carga.....	25
4.4.2.10. Pressões.....	26
<b>4.5. RESUMO DOS PRP'S NA SUA VERTENTE DE ALGORITMIA / PROGRAMAÇÃO</b> .....	27
4.5.1. PROGRAMA 1 .....	27
4.5.2. PROGRAMA 2 .....	28
<b>4.6. DESCRIÇÃO DOS PRP'S</b> .....	32
4.6.1. PROGRAMA 1 .....	32
4.6.1.1. Descrição.....	32
4.6.2. PROGRAMA 2 .....	34
4.6.2.1. Descrição.....	34
<b>4.7. JUSTIFICAÇÃO DOS MÉTODOS</b> .....	39
<b>4.8. CONCLUSÃO</b> .....	40

<b>5. APLICAÇÃO DOS PRP'S PELO MÉTODO PROPOSTO</b> .....	41
<b>5.1. INTRODUÇÃO</b> .....	41
<b>5.2. ENCADEAMENTO DE TAREFAS E PROCEDIMENTOS DE UTILIZAÇÃO</b> .....	41
5.2.1. UNIFORMIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS EM AUTOCAD NA CRIAÇÃO DAS BASES DE CÁLCULO.....	42
5.2.2. EXPORTAÇÃO DOS DADOS DO AUTOCAD PARA FICHEIRO .XLS .....	43
5.2.3. IMPORTAÇÃO DOS DADOS PARA EXCEL .....	46
5.2.4. EXECUTAR A MACRO.....	46
<b>5.3. ESPECIFICIDADES DOS PRP'S</b> .....	47
5.3.1. PROGRAMA 1 .....	47
5.3.2. PROGRAMA 2.....	47
<b>5.4. RESUMO DOS VALORES ADOPTADOS PARA OBTENÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	48
5.4.1. PROGRAMA 1 .....	48
5.4.2. PROGRAMA 2.....	50
<b>5.5. PRP'S EM FUNCIONAMENTO</b> .....	51
5.5.1. PROGRAMA 1 .....	51
5.5.2. PROGRAMA 2.....	53
<b>5.6. ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	56
5.6.1. PROGRAMA 1 .....	56
5.6.1.1. Situação 1.a .....	56
5.6.1.2. Situação 1.b .....	56
5.6.1.3. Situação 1.c.....	57
5.6.2. PROGRAMA 2.....	58
5.6.2.1. Situação 2.a .....	58
5.6.2.2. Situação 2.b .....	59
5.6.2.3. Situação 2.c.....	62
<b>5.7. CONCLUSÃO</b> .....	65
<b>6. CASOS DE ESTUDO COMPARATIVO.</b>	
<b>SOFTWARE "CYPE"</b> .....	67
<b>6.1. INTRODUÇÃO</b> .....	67
<b>6.2. SOFTWARE "CYPE"</b> .....	67
6.2.1. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE "CYPE" .....	67
6.2.2. INTRODUÇÃO DE DADOS.....	68

6.2.2.1. Cenário a) .....	69
6.2.2.2. Cenário b) .....	69
6.2.3. RESULTADOS OBTIDOS.....	70
6.2.3.1. Cenário a) .....	70
6.2.3.2. Cenário b) .....	72
<b>6.3. CONCLUSÃO</b> .....	<b>74</b>
<b>7. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS: “CYPE” VS. PRP’s</b> ....	<b>75</b>
<b>7.1. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS</b> .....	<b>75</b>
7.1.1. PROGRAMA 1 (CENÁRIO 1.A) VS. “CYPE” (CENÁRIO A) .....	75
7.1.2. PROGRAMA 2 (CENÁRIO 2.A) VS. “CYPE” (CENÁRIO B) .....	76
<b>7.2. CRÍTICA DE RESULTADOS</b> .....	<b>76</b>
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	<b>79</b>
<b>8.1. PROPOSTA DE MELHORIA</b> .....	<b>79</b>
<b>8.2. PRP OPTIMIZADO VS. PROJECTO HABITUAL</b> .....	<b>81</b>
<b>8.3. CONCLUSÕES FINAIS</b> .....	<b>82</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>83</b>
<b>10. ANEXOS</b> .....	<b>A1</b>
<b>10.1. DADOS NÃO TRATADOS ATRAVÉS DA EXPORTAÇÃO DO AUTOCAD</b> .....	<b>A2</b>
10.1.1. MALHA ABERTA: CENÁRIO A) .....	A2
10.1.2. MALHA FECHADA: CENÁRIO B).....	A4
<b>10.2. RESULTADOS GLOBAIS</b> .....	<b>A5</b>
10.2.1. PROGRAMA 1 .....	A5
10.2.1.1. Situação 1.a.....	A5
10.2.1.2. Situação 1.b.....	A7
10.2.1.3. Situação 1.c .....	A9
10.2.2. PROGRAMA 2 .....	A11
10.2.2.1. Situação 2.a.....	A11
10.2.2.2. Situação 2.b.....	A12
10.2.2.3. Situação 2.c.....	A13

<b>10.3. RESULTADOS GLOBAIS DO SOFTWARE “CYPE”</b> .....	A14
10.3.1. “CYPE” COM CENÁRIO A) .....	A14
10.3.2. “CYPE” COM CENÁRIO B) .....	A18
<b>10.4. EXCERTOS DA MACRO EM VBA</b> .....	A22
10.4.1. AS MATRIZES MAPE E MACÉ NA ANÁLISE DA “REVERSIBILIDADE DO ESCOAMENTO” .....	A22
10.4.1.1. MApE .....	A22
10.4.1.2. MACÉ .....	A23



## **LISTA DE FIGURAS**

Fig. 1 – Base de Cálculo para o cenário a) .....	13
Fig. 2 – Base de Cálculo para o cenário b) .....	14
Fig. 3 – Diâmetros.....	25
Fig. 4 – Exemplo: dois sentidos na mesma tubagem.....	38
Fig. 5 – Exemplo de resolução.....	38
Fig. 6 – Definição de nova origem.....	42
Fig. 7 – Alteração do caudal instantâneo na “Linetype scale” .....	42
Fig. 8 – Exportar dados .....	43
Fig. 9 – Exportação: 1º passo .....	43
Fig. 10 – Exportação: 2º passo .....	43
Fig. 11 – Exportação: 3º passo .....	44
Fig. 12 – Exportação: 4º passo .....	44
Fig. 13 – Exportação: 5º passo .....	44
Fig. 14 – Exportação: 6º passo .....	45
Fig. 15 – Exportação: 7º passo: FIM .....	45
Fig. 16 – Importação de dados para o Excel .....	46
Fig. 17 – Executar a Macro .....	46
Fig. 18 – Base de Cálculo para o PRP1 .....	48
Fig. 19 – Base de Cálculo para o PRP2 .....	50
Fig. 20 – Introdução de constantes por parte do utilizador.....	51
Fig. 21 – Indicar o tipo de tubagem a utilizar .....	52
Fig. 22 – Informação sobre o custo total da instalação .....	52
Fig. 23 – Indicar a velocidade mínima a considerar.....	52
Fig. 24 – Indica a perda de carga a que chegou e se quer otimizar as pressões .....	52
Fig. 25 – Indicação da perda de carga e da informação que culmina o processo de optimização .....	53
Fig. 26 – Indica a folha em Excel em que estão os resultados globais .....	53
Fig. 27 – Introdução de constantes por parte do utilizador.....	53
Fig. 28 – Indica quantos caminhos cada ponto principal tem de forma directa até à origem.....	54
Fig. 29 – Indica o preço total desse trajecto .....	54
Fig. 30 – Indica que até então o valor mais económico pertence a um determinado trajecto.....	54
Fig. 31 – Vai proceder a cálculos referentes à “Reversibilidade do Escoamento” .....	54
Fig. 32 – Informação global do trajecto a implementar .....	55

Fig. 33 – Informação de que vai ser iniciada a implementação definitiva.....	55
Fig. 34 – Vectores das matrizes a inserir (caso hajam) .....	55
Fig. 35 – Indica a folha em Excel em que estão os resultados globais .....	55
Fig. 36 – Esquema das Bases de Cálculo para o PRP2 com a indicação dos pontos – situação 2.a .	58
Fig. 37 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.a.....	58
Fig. 38 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.b.....	59
Fig. 39 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.b – até 4ª implementação..	61
Fig. 40 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.b – “Iteração Intermédia” ...	62
Fig. 41 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.c.....	64
Fig. 42 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.c – “Iteração Intermédia” ...	64
Fig. 43 – Introdução de valores no <i>software</i> “Cype” .....	68
Fig. 44 – Traçado no <i>software</i> “Cype” – cenário a).....	69
Fig. 45 – Particularidade de abertura da malha fechada .....	69
Fig. 46 – Particularidade de extremidade livre obrigatória.....	69
Fig. 47 – Traçado no <i>software</i> “Cype” – cenário b).....	70
Fig. 48 – Traçado no <i>software</i> “Cype” – cenário a) – com o respectivo dimensionamento.....	70
Fig. 49 – Traçado no <i>software</i> “Cype” – cenário b) – com o respectivo dimensionamento.....	72
Fig. 50 – Comparação de diâmetros entre PRP1 e Cype.....	75
Fig. 51 – Comparação de diâmetros entre PRP2 e Cype.....	76
Fig. 52 – Caudal instantâneo singular e caudal de cálculo. <i>Software</i> “HidroCalculo3” .....	77
Fig. 53 – Esquema das Bases de Cálculo para o PRP2 com a indicação dos pontos – situação 2.b .	79

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Linhas da Base de Cálculo do cenário a) .....	13
Tabela 2 – Pontos da Base de Cálculo do cenário a) .....	13
Tabela 3 – Linhas da Base de Cálculo do cenário b) .....	14
Tabela 4 – Pontos da Base de Cálculo do cenário b) .....	15
Tabela 5 – Consumos Instantâneos regulamentares .....	23
Tabela 6 – Linhas da Base de Cálculo para o PRP1 .....	48
Tabela 7 – Pontos da Base de Cálculo para o PRP1 .....	49
Tabela 8 – Diâmetros do material PP_PN10 .....	49
Tabela 9 – Diâmetros do material PP_PN20 .....	49
Tabela 10 – Diâmetros do material PVCC_PN16 .....	49
Tabela 11 – Diâmetros do material PVCC_PN25 .....	49
Tabela 12 – Linhas da Base de Cálculo para o PRP2 .....	50
Tabela 13 – Pontos da Base de Cálculo para o PRP2 .....	50
Tabela 14 – Diâmetros do material PP_PN20 .....	51
Tabela 15 – Diâmetros do material CU .....	51
Tabela 16 – Custo vs. Perdas de Carga .....	57
Tabela 17 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.a .....	58
Tabela 18 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.b .....	60
Tabela 19 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.b – até 4ª implementação .....	60
Tabela 20 – Alteração devido à “Iteração Intermédia”. Fez outros p.p.’s terem diferentes trajectos ...	61
Tabela 21 – Implementação do 5º p.p. ....	61
Tabela 22 – Diâmetros do material PP_PN20 .....	62
Tabela 23 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.c .....	63
Tabela 24 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.c – “Iteração Intermédia” .....	64
Tabela 25 – Descritivo das tubagens – cenário a) .....	71
Tabela 26 – Descritivo dos nós – cenário a) .....	71
Tabela 27 – Descritivo das tubagens – cenário b) .....	72
Tabela 28 – Descritivo dos nós – cenário b) .....	73
Tabela 29 – Comparação de diâmetros entre PRP2 e o “Cype” .....	76
Tabela 30 – Passos do processo decisório da “Iteração Intermédia” .....	80
Tabela 31 – PRP optimizado vs. Projecto habitual .....	81



**LISTA DE FLUXOGRAMAS**

Fluxograma 1 – PRP1 .....	27
Fluxograma 2 – PRP2 generalizado .....	28
Fluxograma 3 – PRP2 mais em pormenor (1 em 3) .....	29
Fluxograma 4 – PRP2 mais em pormenor (2 em 3) .....	30
Fluxograma 5 – PRP2 mais em pormenor (3 em 3) .....	31
Fluxograma 6 – Encadeamento de Tarefas .....	41
Fluxograma 7 – “Iteração Intermédia” .....	80



**LISTA DE EQUAÇÕES**

(1) .....	24
(2) .....	24
(3) .....	24
(4) .....	24
(5) .....	24
(6) .....	24
(7) .....	24
(8) .....	24
(9) .....	24
(10).....	25
(11).....	25
(12).....	25
(13).....	25
(14).....	25
(15) .....	26
(16) .....	26
(17) .....	26
(18) .....	26
(19) .....	26
(20) .....	26
(21) .....	26



**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Custo vs. Perdas de Carga ..... 57



## LISTA DE ANEXOS

Anexo_Tabela 1 – Malha Aberta: Cenário a) (1 em 2) .....	A2
Anexo_Tabela 2 – Malha Aberta: Cenário a) (2 em 2) .....	A3
Anexo_Tabela 3 – Malha Fechada: Cenário b) (1 em 2) .....	A4
Anexo_Tabela 4 – Malha Fechada: Cenário b) (2 em 2) .....	A4
Anexo_Tabela 5 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.a (1 em 3) .....	A5
Anexo_Tabela 6 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.a (2 em 3) .....	A6
Anexo_Tabela 7 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.a (3 em 3) .....	A6
Anexo_Tabela 8 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.b (1 em 3) .....	A7
Anexo_Tabela 9 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.b (2 em 3) .....	A8
Anexo_Tabela 10 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.b (3 em 3) .....	A8
Anexo_Tabela 11 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.c (1 em 3) .....	A9
Anexo_Tabela 12 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.c (2 em 3) .....	A9
Anexo_Tabela 13 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.c (3 em 3) .....	A10
Anexo_Tabela 14 – Resultados Finais. Matriz Trajectos – PRP2 – Situação 2.a .....	A11
Anexo_Tabela 15 – Resultados Finais. Matriz Trajectos – PRP2 – Situação 2.b .....	A12
Anexo_Tabela 16 – Resultados Finais. Matriz Trajectos – PRP2 – Situação 2.c .....	A13
Anexo_Listagem 1 – Resultados Globais do <i>software</i> “Cype” – cenário a) .....	A17
Anexo_Listagem 2 – Resultados Globais do <i>software</i> “Cype” – cenário b) .....	A21



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

PGSPPDADAR	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
EPAL	Empresa Portuguesa de Águas Livres
PRP	Programa de Resolução Proposto
2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
DAC	Desenho assistido por computador
p.p.	Ponto principal
MPP	Matriz Pontos Principais
MPS	Matriz Pontos Secundários
MPG	Matriz Pontos Gerais
MA	Matriz Adjacências
MT	Matriz Trajectos
ML	Matriz Linhas
M3D	Matriz 3D
MPG_temp	Matriz Pontos Gerais temporária
MT_temp	Matriz Trajectos temporária
MApE	Matriz Apagar_Extra
MAcE	Matriz Acrescentar_Extra
VPP	Vector Pontos Principais
VNme	Vector Normal_mais_económico

Q	Caudal
Qi	Caudal Instantâneo
CU	Cobre
PP	Polipropileno
PVCC	Policloreto de Vinila Clorado
PN...	Pressão Nominal

### **ALGUMAS TRADUÇÕES**

<i>Software</i>	“Programa informático”
<i>Layout</i>	“Disposição gráfica”
<i>Input</i>	“Entrada (de dados)”
<i>Output</i>	“Saída (de dados)”
<i>Website</i>	“Sítio da Internet”
<i>Open Access</i>	“Acesso sem restrições”
<i>Friendly</i>	“Amigável”
<i>Bug</i>	“Erro”
<i>Terabyte</i>	Capacidade de armazenamento de dados informáticos relativos a $10^{12}$ bytes.
<i>Papers</i>	Tipo de documento académico





## INTRODUÇÃO

### 1.1. OBJECTIVOS

A elaboração desta tese teve em vista colmatar uma lacuna na geração automática do caminho óptimo de um sistema predial de abastecimento de água em malha fechada. Para tal foi proposto criar dois programas em que cada um deles tivesse especificidades próprias, capazes de dar resposta a diferentes preocupações.

Para além das especificidades próprias, requereu-se que a elaboração da tese tivesse em mente três grandes objectivos:

- ✓ Procurar o custo mínimo num processo de optimização do dimensionamento hidráulico e da escolha do traçado;
- ✓ Facilitar a comunicação entre um programa de DAC<sup>1</sup> e o programa de Cálculo;
- ✓ Ser intuitivo, funcional, simples mas rigoroso.

Em relação a preocupações e objectivos gerais, o custo mínimo do sistema de abastecimento esteve sempre no cerne da decisão. Quanto à comunicação entre o programa de DAC e o programa de Cálculo, este objectivo passava por arranjar uma ferramenta ou um sistema que conseguisse coligir a informação entre os dois programas de forma a ser mais fácil, mais rápido e mais exacto este manuseamento da informação. Em relação a ser intuitivo, funcional, simples e rigoroso, foi uma preocupação, com o fim de acrescentar mais-valia a estes programas propostos.

No que diz respeito a especificidades próprias temos, com a criação do programa 1, o dimensionamento de um sistema de abastecimento de água em que se deve minimizar o custo total. Além deste factor era proposto optimizar as pressões, na medida em que iterativamente se propunha reduzir as perdas de carga do sistema, através do aumento dos diâmetros das tubagens do caminho mais desfavorável.

Quanto ao programa 2, os objectivos eram consideravelmente diferentes. Aproveitando parte do programa 1, no que diz respeito ao dimensionamento hidráulico, este programa propunha-se desenvolver um algoritmo que possibilitasse a escolha, numa malha fechada, do traçado de menor custo, tendo subjacente a Teoria de Grafos e a Teoria de Decisão aliada ao próprio Cálculo Hidráulico.

---

<sup>1</sup> Desenho assistido por computador

## **1.2. PROBLEMÁTICA**

Um problema existente na generalidade dos programas informáticos comerciais consiste na falta de conexão entre eles e os programas de DAC. Sabe-se que, se não todos, a esmagadora maioria dos gabinetes de projectos ficam obrigados à utilização de um programa de DAC para a criação de plantas de Arquitectura, Estruturas e demais especialidade da Engenharia Civil. Assim, torna-se num grande desperdício de recursos a necessidade de, aquando do cálculo hidráulico, ter que reconstruir o traçado no próprio ambiente do programa de cálculo. Sabe-se que alguns possibilitam a importação de plantas em DAC, mas sem possibilidade de as editarem, ou seja apenas permitem a importação da mesma como imagem ou também denominada como máscara. É então uma problemática a ter em conta no desenvolvimento dos programas propostos.

Outra problemática surge devido ao facto de apenas alguns destes programas comerciais permitirem um recálculo do sistema de abastecimento de água, aquando de uma situação em que as pressões no ponto mais desfavorável são insuficientes. Torna-se assim um problema a ter em atenção.

A problemática inerente ao objectivo final de criação do caminho óptimo através de uma malha fechada, insere-se numa lacuna existente hoje em dia em todos os programas informáticos comerciais, que apenas permitem o dimensionamento de um traçado preexistente. No entanto não integram nesse dimensionamento a possibilidade de vários caminhos distintos para a criação de um só traçado optimizado. Um grande problema inserido nesta problemática, consiste na Teoria de Decisão, ou seja na decisão de quais trajectos são os mais económicos. Porém, por ser uma malha fechada, este processo é substancialmente mais complexo, em grande parte pela possibilidade teórica de haver escoamento em dois sentidos, mas na prática, tendo apenas a possibilidade de implantação num só sentido. Por exemplo se numa dada ocasião existir caudal a passar de A para B e se for necessário conhecer se por outras imposições fica mais económico passar antes de B para A, o recálculo do sistema é deveras complexo. O mesmo não acontece numa malha aberta que não tem possibilidade deste problema dual, doravante denominado como “Reversibilidade do Escoamento”.

É a criação do caminho óptimo através de uma malha fechada a grande problemática na qual gira os pressupostos da criação dos programas propostos.

## **1.3. CAMPO DE APLICAÇÃO**

O seu campo de aplicação contempla todos os projectos de edifícios na sua vertente de instalações de edifícios, no ramo de sistema predial de abastecimento de água. É obvio que este trabalho pode ser aplicado noutros âmbitos, com as devidas alterações, nomeadamente em sistemas hidráulicos de qualquer espécie que tenha como incógnita o traçado do mesmo.

No caso mais concreto, todos os gabinetes de projectos desta área, ao utilizar esta ferramenta/programa criada, têm uma mais-valia considerável em utilizar um programa que dê o traçado mais económico e de uma forma simples e automática. Outra mais-valia é o facto de não ser uma “caixa-negra”, especialmente para quem tenha os mínimos conhecimentos da linguagem VBA<sup>2</sup>, podendo introduzir ou adaptar-se algumas nuances.

Para além de facilitar o cálculo na medida em que interage com um *software* de DAC, potencia a redução de custos associado ao traçado optimizado. Pode ser também utilizado como forma de testar alguma solução adoptada assim como para ganhar maior sensibilidade e experiência na abordagem de projectos futuros, através da análise dos resultados obtidos.

---

<sup>2</sup> Visual Basic for Applications

#### **1.4. MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO**

Para o método de investigação, serviu de apoio alguma bibliografia. Foi exemplo (Ramón y Cajal, 1999) o qual abriu os horizontes sobre as qualidades que o próprio investigador tem de possuir, conselhos de investigação, a importância dos resultados e sua compreensão, para além de vários outros temas inerentes ao método de investigação.

Dois outros livros úteis (Azevedo, 2003) e (Frada, 2001) possibilitaram de uma forma mais prática e directa aprofundar conhecimentos na área de todos os procedimentos metodológicos, desde a pesquisa de fontes de informação até à apresentação e elaboração de trabalhos científicos académicos.

O próprio método de investigação incidiu sobre várias etapas. A primeira foi a pesquisa sobre livros que de certa forma indicavam quais os métodos de investigação a seguir. Posteriormente veio o denominado “Estado de Arte”. Com esta investigação foi possível conhecer-se o que haveria até então sobre esta problemática. A seguinte etapa de investigação enfocou sobre métodos que pudessem dar resposta à resolução dos pressupostos. Esta investigação permaneceu até ao final da elaboração dos programas propostos, uma vez que agrupava em si toda a informação sobre métodos, teorias e demais conhecimentos indispensáveis para a elaboração dos ditos programas. Conhecidas as linhas gerais de como abordar a questão, foi fulcral investigar o que estava no mercado sobre este tema, nomeadamente pela investigação aprofundada de programas informáticos comerciais da área. Por fim, foi importante investigar quais as possibilidades de traçado consubstanciadas à Base dos Métodos, uma vez que estas bases serviriam para pôr à prova os referidos programas.

Poder-se-á dizer que a investigação percorreu todas as fases da elaboração da tese, e até mesmo antes de ela se iniciar. Quanto ao método em si, assentou tanto na pesquisa bibliográfica como na experimentação, e na capacidade de ultrapassar problemas ao longo da programação dos supra referenciados programas.

#### **1.5. ORGANIZAÇÃO**

A presente tese foi organizada por vários capítulos a fim de reflectir os diferentes estádios de informação contidas na mesma.

No Capítulo 1 está patente uma introdução à tese onde se explanam os objectivos e se discute a problemática em questão, em suma, funciona como um preâmbulo.

No Capítulo 2 pode-se encontrar a demais informação referente ao recenseamento bibliográfico, nomeadamente no que diz respeito ao estudo do Estado de Arte.

Já no Capítulo 3 se descortina, com base na informação até então recolhida, uma solução em DAC que servirá de Base tanto para o método de resolução proposto por intermédio dos programas elaborados, assim como para os Casos de Estudo que servirão de comparação entre este tipo de *software* e o desenvolvido no âmbito desta tese.

O Capítulo 4 encerra em si a informação referente ao método proposto de resolução consubstanciado em dois distintos programas, os Programas de Resolução Propostos (PRP's). Neste capítulo, os PRP's desenvolvidos no âmbito desta tese serão apresentados, descritos e justificados.

No Capítulo 5 estará presente a informação relativa à aplicação ou implementação do método proposto, assim como será feita uma análise aos resultados obtidos.

No Capítulo 6 será a vez do estudo dos programas informáticos similares, no qual far-se-á uma breve descrição do referido programas informáticos e apresentar-se-ão todos os valores usados para a obtenção dos resultados que serão alvo de análise.

O Capítulo 7 traz consigo toda a análise dos resultados obtidos pelo programa desenvolvido e pelo programa informático comercial, pelo que será neste capítulo que se irão esgrimir as potencialidades e debilidades de cada um.

Já o Capítulo 8 debruça-se sobre futuros possíveis melhoramentos a implementar e faz uma reflexão/comparação entre as vantagens e desvantagens do programa criado e do método tradicional de projecto de abastecimento de água. Finaliza com as Conclusões Gerais.

No Capítulo 9 é possível verificar a Bibliografia consultada.

O Capítulo 10 encerra esta tese tendo contido em si os anexos que se acharam pertinentes.

# 2

## REVISÃO E RECENSEAMENTO BIBLIOGRÁFICO

### 2.1. INTRODUÇÃO

O recenseamento bibliográfico e a pesquisa do mesmo encerra em si de grande importância, uma vez que é através da pesquisa de material relacionado com o tema da tese que se pode ter noção do que já se fez, e quais as potencialidades num possível melhoramento e continuidade de outras abordagens.

A pesquisa bibliográfica é um dos pontos fundamentais na elaboração e no delinear da abordagem de uma tese, possibilitando dessa forma ter a noção do denominado “Estado de Arte” de um determinado tema. Com esta pesquisa pode-se aprofundar conhecimentos, aprender diferentes abordagens de um mesmo problema ou similar, e capacitar o Autor de uma pluralidade de visões e possíveis soluções para um dado problema a encerrar.

A dificuldade está na pesquisa. Num mundo globalizado pela Internet em que diariamente, e de forma exponencial, uma quantidade inimaginável de *Terabytes* é lançada sobre forma de informação para o espaço global, o difícil está em encontrar o pretendido. Felizmente alguns portais têm especificidades na aceitação da informação o que facilita a pesquisa da mesma. Dessa forma, os portais especializados na pesquisa de material como Teses, Dissertações, *Papers*, Actas de Conferências, e demais registos complementares, fazem com que a informação seja mais fácil de encontrar.

### 2.2. PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO

Para este estudo do “Estado de Arte” recorreram-se a várias ferramentas disponíveis. Uma delas, mais abrangente e também mais dispersa nos seus conteúdos, foram os motores de busca da Internet. O [Google](#) foi exemplo disso, no qual se encontraram vários aspectos importantes como por exemplo o Estado de Arte mais concreto dos programas informáticos que fazem cálculos de abastecimentos de água. Além deste, foi também possível, através dos motores de busca, encontrar alguns *papers* e outros documentos relacionados com o próprio Estado de Arte acerca do proposto.

Para além dos motores de busca recorreu-se à poderosa ferramenta disponibilizada pelo site da [Biblioteca da FEUP](#), o qual dava ligação a vários sítios da Internet especializados na procura de Dissertações, Teses, Relatórios, Actas de Conferências, *Papers*, patentes, etc. Através deste site fez-se pesquisas integradas, mas com alguma menos-valia pelo facto de a conexão deste com os respectivos interlocutores, por vezes, não estarem 100% em sintonia com o pretendido, no que se refere à estandardização da linguagem de pesquisa. Certamente excelente para uma abordagem mais generalista, mas menos potente para pesquisas com determinadas restrições.

Através de informações contidas no *website* da FEUP e de mais alguma pesquisa sobre o melhor modo de investigar, fui levado a pesquisar em quatro grandes sítios: O “[Ei Village](#)”, o “[Scopus](#)”, o portal “[Web of Science](#)” e um mais especificado para Dissertações e Teses, o “[Dissertations & Theses](#)”. Cada um deles com as suas particularidades, permitiu que o leque de informação fosse muito vasto e abrangente, o que através de excelentes ferramentas disponibilizadas por estes, se pudesse refinar a pesquisa, concentrando-a em algo mais profundo e específico. Saliente-se ainda que cada um desses portais incorporava uma forma particular da introdução de informação ou seja, com diferentes possibilidades de truncamentos de palavras ou mesmo de palavras ocultas, conjunções e disjunções nas pesquisas, letras incógnitas, entre outras potencialidades.

O “Ei Village” incorpora em si duas poderosas ferramentas de pesquisa: o “Compendex” e o “Inspec”. O “Compendex”, com mais de 9 milhões de referências e resumos, está focalizado em pesquisas de Engenharia abrangendo a área de Engenharia Civil. Já o “Inspec”, com mais de 8 milhões de registos bibliográficos, é mais virado para Engenharia de Produção, Matemática, Informática e Automação e Controlo (entre outras).

Já o “Scopus” integra em si mais de 4500 títulos só da área da Física, Química e Engenharia. No total tem mais de 265 milhões de referências que vão desde as Ciências da Saúde à Psicologia e Biologia. É interessante o facto de ter mais de 500 editoras em modo de *Open Access*.

Do portal muito conhecido “Web of Science” apenas se recorreu ao módulo “Science Citation Index”. Este módulo é actualizado semanalmente o que lhe confere grande actualidade.

Quanto ao “Dissertations & Theses” é um portal muito importante para a pesquisa de Teses e Dissertações, uma vez que compila em si mais de 2.3 milhões de entradas de mais de 1000 universidades de renome mundial. Estão também disponibilizados cerca de 800 mil documentos em versão de texto integral.

As citações e referências bibliográficas de um dado registo bibliográfico interessante pode levar-nos a outros que citando um terceiro vai fazer com que a nossa pesquisa se aprofunde e convirja para um tema mais específico, fazendo com que se refina o leque de informação disponibilizado em níveis anteriores.

Todas estas ferramentas de busca permitem importação para *software* especializado em gerir registos bibliográficos como é o caso do “[EndNote](#)”. Este *software* permite outro tipo de potencialidades a explorar que facilitam as pesquisas e o armazenamento das mesmas.

### 2.3. O ESTADO DE ARTE

Através da pesquisa se constatou que muito há acerca do dimensionamento hidráulico e do traçado de condutas, porém com o âmbito de aplicação não comparável com o proposto.

Diferentemente do objectivo de explicar automaticamente um traçado, coligindo alguns pressupostos inerentes ao dimensionamento e algumas simplificações descritas no tema proposto, existe muita informação sobre o traçado de condutas. Porém, a grande maioria apenas otimiza um traçado já delineado e com todos os pontos obrigatórios de passagem, fazendo pouco mais que um dimensionamento económico.

Existe muita informação sobre dimensionamento de traçados, mas a nível municipal; ou seja, diferentemente de um abastecimento de água de uma habitação com os pressupostos intrínsecos de instalações de edifícios, existe uma vasta gama de bibliografia que retrata a optimização a este nível. É exemplo (Atassi, et al., 2006) *“O traçado é influenciado por vários factores: políticos, financeiros, ambientais, entre muitos outros. Traçado para abastecer 600 casas. Discute os desafios e as soluções encontradas nesse abastecimento municipal de águas com condicionantes dos detalhes do projecto.”*<sup>3</sup>. Ainda existe (Babayan, et al.) quem pondere factores subjectivos e ponderação de incertezas e falhas para o cálculo optimizado: *“Faz o balanço entre multicritérios/objectivos. Dois deles são o custo do traçado e a probabilidade de falha do abastecimento de água. Tem ainda como incerteza a rugosidade e o consumo de água. Curva final entre o custo e a robustez do sistema.”*, ou (Suribabu ; Neelakantan, 2008) que incide o seu estudo sobre o risco de falhas *“Inclusão do risco de falha no delinear do projecto. A solução óptima (ou próxima desta) tem em conta a fiabilidade da solução e a probabilidade associada de falhas.”*. (Lansey, et al., 1989) acrescenta que essas incertezas podem influenciar em muito os resultados obtidos. *“Mínimo custo de traçado. Incertezas de consumos, picos de pressões e rugosidade das condutas. Usado o método generalizado de gradiente reduzido. Conclui-se que as incertezas acima descritas podem interferir em muito nos resultados obtidos.”*. Outros há (Kapelan, et al., 2004) que abordam um exemplo e uma realidade existente para consolidar os resultados obtidos em que ponderam o real peso das simplificações *“Objectivo: reduzir custos tendo como restrição as pressões nos nós. Cálculo probabilístico de utilização simultânea balanceando com a satisfação das pressões. Incerteza: consumos. Aplicação ao túnel de New York, com simplificações várias. Através do cruzamento de dois métodos diferentes tiraram-se as conclusões de que: simplificações podem ter negligências importantes e que ambos métodos podem ser fiáveis desde que bem criteriosos.”*.

Uma das incertezas mais equacionadas e até levada em consideração são os consumos. Então (Liberatore, et al., 2006) estuda as relações de incerteza em relação ao consumo *“Utiliza optimização matemática primal e dual para calcular a incerteza no consumo, a robustez da escolha do traçado e o dimensionamento do próprio traçado. Usa relações não lineares para o dimensionamento hidráulico do traçado.”*.

Ainda no âmbito multicritério e de inclusões subjectivas, temos que (Nicolini, 2005) propõe uma abordagem probabilística *“Apresenta dois níveis integrados de optimização com base em multicritérios e em que integra dois sistemas de algoritmos genéricos (MOGAs) e GA (sem "crossover"). Método probabilístico.”*. (Schmidt-Traub, et al., 1998) acrescenta ainda mais alguns critérios subjectivos, como a operacionalidade, segurança e economia na decisão *“Delinear um trajecto tendo em conta a operacionalidade, segurança e economia da solução. Influenciado por vários factores semi-subjectivos como manutenção, requisitos de operacionalidade, etc. Utilização de software para minimizar custos mediante imposições um tanto subjectivas que serão dadas como*

---

<sup>3</sup> Resumo(s) do(s) registo(s) bibliográfico(s)

*"inputs" a esse tipo de softwares.*". A qualidade entra na abordagem de (Richert ; Gruhn, 1999) em que aborda a *"Gestão da qualidade tendo em conta a redução do tempo de cálculo, menor custo de mão-de-obra, e fiabilidade da solução. Com tarefas rotineiras utiliza-se a informática para facilitar processos e escalona-se num "ranking" de um sistema de decisão. Análise das decisões vs. resultados obtidos para constante melhoramento."*

Para além da abordagem multicritério há quem tenha feito (Ulanicki ; Kennedy, 1994) o estudo das vantagens e implicações das simplificações na abordagem de um processo de optimização hidráulico *"Vantagem de ter simplificações que possibilita grande pluralidade na aceitação de redes a otimizar. Método simplificado cuja solução encontrada é perto da ótima através da comparação com o método de "Branch e Bound"."*

Outra forma de abordagem é através do peso/ponderações e de especial enfoque das zonas específicas de concentração do processo a otimizar. (Vairavamoorthy ; Ali, 2005) estudaram o *"Mínimo custo assegurando as pressões nos picos dos consumos. Usa um index-vector que caracteriza a amostra e a escalona por importância os pontos nodais a analisar, o que faz com que exclua zonas em que não é necessário focar a atenção dos cálculos por serem, de longe, não críticos."*, assim como (Djebedjian, et al., 2007) propôs, mas através da inclusão de penalidades ao zonamento mais periclitante *"Utilização de funções que penalizam uma certa circunstância. A robustez decide-se mediante a penalidade a executar e a que parâmetro. Faz com que alterando as penalidades impostas se cheguem a regiões com peso mais substancial em detrimento de outras zonas menos penalizadas. Rapidez assegurada quando comparado com outros métodos."*

Há autores que se especializaram em algo um pouco paralelo ao tema proposto, no que se refere ao grande enfoque sobre elementos específicos, como bombas elevatórias, reservatórios, válvulas redutoras de pressão, etc. (Lansey ; Mays, 1990) estudou o *"Traçado tendo em conta bombas elevatórias, reservatórios, válvulas redutoras de pressão. Programação não-linear. Funções objectivo com argumentos Lagrangeanos para cálculo das pressões."* e outros sobre estações elevatórias (Costa, et al., 2000) *"Optimização de condutas e de estações elevatórias com reservatórios."*

A abordagem 3D nestes processos é também fonte de estudo de vários autores. (Satyanarayana, et al., 1992) faz coincidir o seu percurso com a orientação de um eixo coordenado com outros 2 ortogonais *"Faz o delinear 3D da trajectória através da extrapolação não linear em que faz coincidir um dos eixos à trajectória e os outros dois eixos ortogonais a ele. O caminho é definido pela rotação do eixo que delinea a trajectória através de um processo decisório de vales e picos quantificáveis."*. Relativamente ainda à abordagem 3D, mas de uma perspectiva mais "macro", (Tabesh ; Sheryl, 2006) estudou o 3D na coordenação de projectos *"Estudo do impacto na coordenação 3D das diferentes especialidades (arquitectura, estruturas, hidráulica, etc...)." Informação sobre o processo de coordenação e modelação 3D. Impacto no processo de modelação."*

A Teoria de Grafos é muito útil neste tipo de abordagem. Aliás, pensámos que essa própria teoria tem de estar subjacente conceptualmente ao tema da optimização de traçados do abastecimento de águas. Há quem pense, de uma forma não tão específica ao tema proposto, nesta teoria e com uma visão 3D (Wada, et al., 1985) *"Delinear traçado partindo de um ponto fixo e usando uma rede 3D. O traçado é escolhido através de um algoritmo desconhecido, porém sem ponderação hidráulica, ou seja, um processo simples de teoria de grafos. Não tem ponderação de escoamento nem reversibilidade no mesmo. Apenas pondera distâncias."*. Outro autor delimitou outras duas abordagens numa visão assemelhada ao que designou: *"Colónia de formigas"*. Assim, (Afshar, 2008) propôs *"Duas formulações para optimização tipo "colónias de formigas". Na primeira formulação é dada a cada formiga o centro da escolha e ela decide que caminho toma. Na segunda formulação esta determina o*

centro da escolha como o nó dos caminhos em que determina assim as possibilidades de caminhos que se ligam a esse nó em forma de árvore de decisão. Tem relevância mas não é focalizado na problemática de abastecimento de águas.”.(Sherali, et al., 2001) abordou a questão através de relações poliédricas “*Optimização utilizando poliédricas relações para cálculo otimizado com salvaguarda de consumo de água e pressões.*”.

Outros autores (Ito, 1999) propõem um estudo na perspectiva da não obrigatoriedade de passagem por qualquer ponto num determinado traçado, apenas pela imposição de alguns obstáculos “*Sem traçado algum e sem restrições de passagem, apenas com alguns obstáculos, e com um leque de opções de passagem plana faz a idealização do traçado mesmo com cruzamentos entre si. Utiliza a noção de linhas potenciais. Desenvolve-se através de um plano 2D como que sem pontos nodais obrigatórios, através de vectores livres.*”. Há ainda quem tivesse estudado a técnica de traçados em série e em paralelo (Gomasta ; Devi, 1989) “*Usa a Teoria de Grafos combinando programação dinâmica com técnica de traçados em série e em paralela.*”.

Para a questão a desenvolver no âmbito desta tese, no que esta se propõe apresentar, o traçado é uma incógnita tendo porém apenas alguns pontos de passagem (obrigatórios: elementos de consumo; e não obrigatórios: vértices das linhas representativas das paredes). Porém há quem tenha abordado o tema hidráulico conceptualmente mais próximo do proposto nesta tese, mas com o senão da abordagem da escolha do traçado ser diferente. Nuns casos, o traçado é já delineado, noutro apenas contempla a base da Teoria de Grafos pura e simples, em que todos os pontos da malha são pontos em que o consumo tem de ser superior a zero, e em que todas as condutas têm de ser abastecidas. (Cunha ; Sousa, 1999) propõe o estudo de um caso semelhante “*Método simulado com base heurística que desenha o mínimo custo de uma malha de distribuição com utilização do método de Newton para solução das equações hidráulicas. Funciona com casos discretos ou combinados. Faz balanço de pressões e diâmetros, porém parte de uma malha já definida e sem possibilidade de alterar, ou seja, com todos os ramais obrigatórios de passagem de água.*”. (Hansen, et al., 1991) focaliza o estudo das pressões com a optimização do traçado no que se refere à escolha de diâmetros, mas quando o próprio layout do traçado é já um dado “*O traçado é dado. O objectivo é dimensionar esse traçado atendendo às pressões acima de um determinado nível nos nós. Minimizar custo. Resultados muito próximos do óptimo.*” Outros (Sousa ; Cunha) abordam o processo de pesquisa aleatória do chamado “*Processo de Recozimento Simulado*” em que o traçado é também conhecido “*Sistemas públicos de abastecimento de água. Redes malhadas, supondo conhecido o respectivo traçado. Método da pesquisa aleatória – Processo físico de Recozimento Simulado.*”. Finalmente há quem (Abebe ; Solomatine, 1998) tenha integrado e sincronizado software para um processo dinâmico “*Cálculo os diâmetros necessários para uma rede malhada com o respectivo traçado delineado, usando software sincronizado entre o GLOBE<sup>4</sup> e o EPANET<sup>5</sup> fazendo o processo dinâmico.*”.

---

<sup>4</sup> Pode ser visualizado em [www.data-machine.com](http://www.data-machine.com). Ferramenta de optimização genérica.

<sup>5</sup> Desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), dos Estados Unidos da América

## **2.4. CONCLUSÃO**

Apesar de haver muitos registos bibliográficos acerca da problemática de forma genérica, é apenas escassa a informação específica do tema em questão. Assim, embora possa haver muita informação acerca de optimização de traçados, estes quase sempre se destinam a traçados de colectores prediais ou municipais, em que todos os pontos discretos são de passagem obrigatórios. Além dessa diferenciação a grande maioria pressupunha uma predefinição do traçado a otimizar, pelo que em muitos deles o próprio traçado não seria uma incógnita, mas sim os diâmetros indexados a outros factores (como velocidades mínimas e máximas, pressões, etc.).

Houve ainda quem abordasse a questão pela via da ponderação multicritérios, mais até na sua vertente subjectiva. Factores como a qualidade, robustez do traçado, fiabilidade, economia, incertezas de consumos, etc., foram factores que estiveram na base da análise para alguns autores. A simplificação como base de processos de optimização, tiveram a sua crítica patente também em alguns trabalhos.

Abordagens 2D em leque (ou seja sem malha delineada e com completa liberdade de traçado) assim como abordagens 3D foram alvo também do estudo de alguns investigadores.

Dos mais interessantes e úteis foram os trabalhos na área da Teoria de Grafos e Teoria de Decisão, mesmo que sem conexão com o caso de dimensionamento hidráulico. Estes trabalhos enfocavam na forma como os pontos se podiam unir pelo menor custo e menor trajecto. A integração destes temas com a própria tese pressupôs algumas considerações, assim como uma diferente perspectiva de aplicabilidade, como por exemplo o caso da “Reversibilidade do Escoamento” (ver [Capítulo 4.6.2.1.](#)), ou seja, quando o escoamento está numa dada direcção e através do poder decisório passa a ter o escoamento na direcção inversa o que implica uma significativa alteração nos traçados já preconcebidos.

# 3

## CRIAÇÃO DAS BASES DE CÁLCULO

### 3.1. INTRODUÇÃO

A criação das Bases de Cálculo para servir como ponto de partida do Método Proposto e dos Casos Comparativos de Estudo, consubstanciam-se em ficheiros elaborados em AutoCAD<sup>6</sup> que vão ser considerados como *input* dos programas que desenvolverão cálculos para se chegar aos resultados. São estes ficheiros que transmitirão o problema ao próprio programa de cálculo, preconizados pelo Método Proposto de Resolução.

Estas Bases de Cálculo foram escolhidas criteriosamente para melhor poderem ser susceptíveis de validação dos resultados, ou seja, os casos que se estudarão serão idealizados de forma a que a aplicabilidade espelhada na realidade nunca seja posta em causa. É necessário que por um lado transmitam alguma simplificação na aplicação do método e que por outro lado tenham particularidades que evidenciem a fiabilidade dos métodos a testar por constatação nos resultados.

Mais concretamente, serão Bases de Cálculo aquelas que tragam uma mais-valia e uma comprovação do real funcionamento do método de optimização proposto e que integrem em si alguma complexidade que espelhe a situação real, bem como alguma simplificação para mais facilmente se chegar ao resultado de forma relativamente célere. Assim, estas Bases serão tão complexas quanto o demonstrarem estar ligados à realidade, e simples de forma a que o número de iterações não faça com que o programa “se arraste”, tendo em mente o caso concreto do Método Proposto de Resolução.

### 3.2. PONTO DE PARTIDA PARA A CRIAÇÃO DAS BASES DE CÁLCULO

O método para a escolha das Bases de Cálculo foi baseado na observação da realidade, e nas demais particularidades que se queiram comprovar pela fiabilidade do método proposto.

Após a planta de Arquitectura/Estruturas, o projectista tem entre mãos a definição de um trajecto ideal para a localização das condutas numa dada habitação. Usualmente utiliza ferramentas de DAC como suporte do seu esquema pelo que estas Bases de Cálculo tiveram a sua germinação numa ferramenta de DAC, mais concretamente o AutoCAD.

Através da realidade se verifica que as condutas geralmente passam embutidas nas paredes. Ora, o caso de estudo terá de evidenciar por meio de linhas as possibilidades de passagem das condutas, que neste caso representarão paredes divisórias ou paredes em que sejam permitidos o embainhamento das condutas em si.

---

<sup>6</sup> Software CAD da AutoDesk

Por outro lado foi necessário promover pontos com débito (ou caudal instantâneo), pontos esses que estarão intimamente ligados aos elementos de abastecimentos que temos em nossas casas como são o exemplo disso as torneiras. Para cada ponto em que esteja definido a implementação de um dado elemento torna-se indispensável a incubação do valor de débito associado.

Para além destes pontos é necessário a criação do ponto de partida do escoamento, ou seja o primeiro ponto que faz o abastecimento de uma dada malha a considerar. Nesse ponto implementa-se o valor do débito de 0 (zero) l/s para que o programa o reconheça como tal.

Assim, cada caso de estudo integra em si, tendo o AutoCAD como plataforma, linhas que representam a possibilidade de passagem de condutas, conotadas com as paredes passíveis de embainhamento, pontos com débito predefinido que representam os elementos hidráulicos implantados por imposição do projecto de estruturas e arquitectura, e um ponto inicial o qual terá um valor nulo de débito.

### **3.3. DESCRIÇÃO DAS BASES DE CÁLCULO**

Como referenciado anteriormente criar-se-ão as Bases de Cálculo ou também designados doravante por cenários com base nos objectivos que se queiram alcançar.

Assim, foram criados dois cenários finais diferentes, que visavam a integração dos mesmos com o Método Proposto de Resolução ou mais concretamente com os denominados Programas de Resolução Propostos (PRP's) porquanto se esteja a falar concretamente no *software* desenvolvido no âmbito desta tese. Denote-se ainda que ao longo da idealização do programa supra citado, os cenários foram também sido alterados com base na maior complexidade ou simplicidade que se quisesse impor ao mesmo para testar as suas mais-valias, e testar também se os resultados obtidos estavam a ter validade.

#### **3.3.1. CENÁRIO A)**

O cenário a) é um cenário que foi desenvolvido para uma primeira abordagem ao tema em si, ou seja é um cenário de malha aberta que vai verificar a robustez e fiabilidade do PRP1 (ver à frente os dois diferentes programas idealizados e criados para a resolução da problemática em questão).

Este cenário contém linhas e pontos referenciadas pelas suas coordenadas (x,y,z) do AutoCAD em que a escala é de 1:1. Para além disso foi uma preocupação criar ramificações, ou seja cruzamento de condutas que acrescentavam complexidade ao problema.

Os pontos referenciados como elementos hidráulicos estão patentes no desenho e com um débito associado que se pode verificar na figura seguinte:

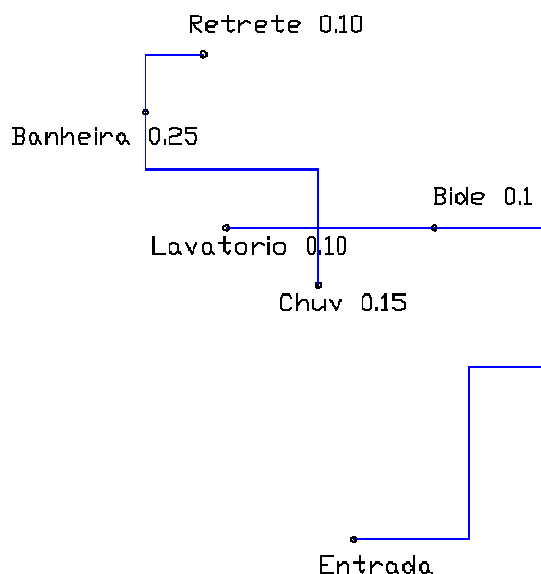


Fig. 1 – Base de Cálculo para o cenário a)

Os dados referentes a este cenário estão presentes nas seguintes tabelas:

i) Linhas

Tabela 1 – Linhas da Base de Cálculo do cenário a)

Count	Name	Angle	Delta X	Delta Y	Delta Z	End X	End Y	End Z	Length	Start X	Start Y	Start Z
1	Line	90	0	5	0	830.5126	631.5598	0	5	830.5126	626.5598	0
2	Line	180	-10	0	0	830.5126	626.5598	0	10	840.5126	626.5598	0
3	Line	180	-8	0	0	822.5126	626.5598	0	8	830.5126	626.5598	0
4	Line	270	0	-5	0	830.5126	621.5598	0	5	830.5126	626.5598	0
5	Line	180	-10	0	0	840.5126	626.5598	0	10	850.5126	626.5598	0
6	Line	90	0	15	0	843.5126	614.5598	0	15	843.5126	599.5598	0
7	Line	0	10	0	0	843.5126	599.5598	0	10	833.5126	599.5598	0
8	Line	90	0	12	0	850.5126	626.5598	0	12	850.5126	614.5598	0
9	Line	0	7	0	0	850.5126	614.5598	0	7	843.5126	614.5598	0
10	Line	180	-15	0	0	815.5126	631.5598	0	15	830.5126	631.5598	0
11	Line	90	0	5	0	815.5126	641.5598	0	5	815.5126	636.5598	0
12	Line	90	0	5	0	815.5126	636.5598	0	5	815.5126	631.5598	0
13	Line	0	5	0	0	820.5126	641.5598	0	5	815.5126	641.5598	0

ii) Pontos

Tabela 2 – Pontos da Base de Cálculo do cenário a)

Count	Name	Linetype Scale	Position X	Position Y	Position Z
1	Point	0.15	830.5126	621.5598	0
2	Point	0.1	822.5126	626.5598	0
3	Point	0	833.5126	599.5598	0
4	Point	0.1	840.5126	626.5598	0
5	Point	0.25	815.5126	636.5598	0
6	Point	0.1	820.5126	641.5598	0

3.3.2. CENÁRIO B)

O cenário b) foi desenvolvido com vista a aumentar a complexidade do problema. Por um lado exigia uma malha fechada, ou seja em que houvesse possibilidade de diferentes sentidos de escoamento em determinadas tubagens, por outro lado que fosse relativamente simples por forma a não complicar o procedimento de cálculo, ou seja, que incorporasse em si especificidades que comprovassem potencialidades como as de escoamento em dois sentidos (“Reversibilidade do Escoamento”) e que, tal como acontecia no cenário anterior, fossem criados pontos secundários que seriam os dois vértices das extremidades dos segmentos de recta, mas os quais, desta vez, não teriam obrigatoriedade de serem pontos inclusos do sistema, uma vez que o escoamento podia preterir uma dada tubagem em função de outra por ser mais económico.

O cenário criado em AutoCAD, geo-referenciado, incorpora também à semelhança do anterior, pontos com débitos hidráulicos positivos e um nulo como sendo a origem do sistema de abastecimento.

Dessa forma se criou o seguinte cenário:

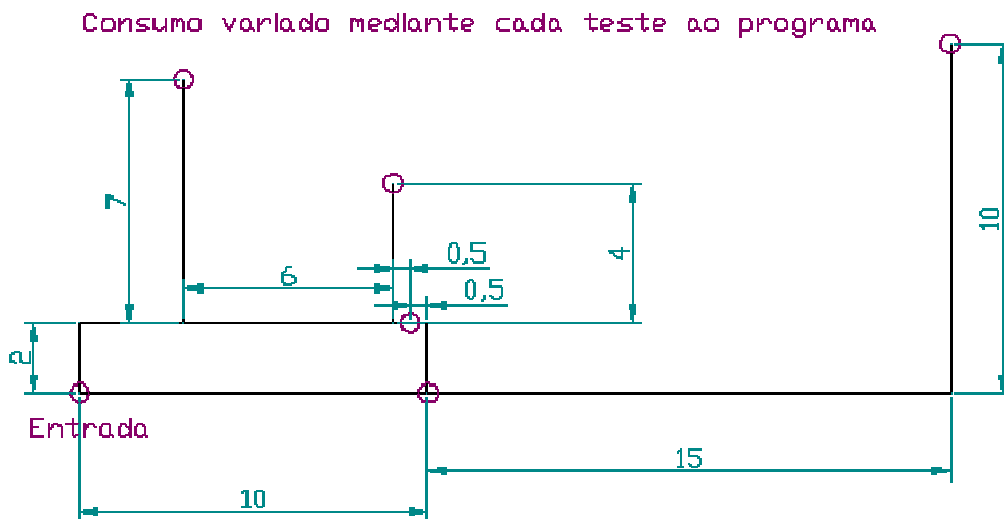


Fig. 2 – Base de Cálculo para o cenário b)

Os dados deste cenário estão presentes nas seguintes tabelas:

i) Linhas

Tabela 3 – Linhas da Base de Cálculo do cenário b)

Count	Name	Angle	Delta X	Delta Y	Delta Z	End X	End Y	End Z	Length	Start X	Start Y	Start Z
1	Line	180	-3	0	0	2065.0592	1302.7068	0	3	2068.0592	1302.7068	0
2	Line	180	-6	0	0	2068.0592	1302.7068	0	6	2074.0592	1302.7068	0
3	Line	90	0	7	0	2068.0592	1309.7068	0	7	2068.0592	1302.7068	0
4	Line	270	0	-2	0	2065.0592	1300.7068	0	2	2065.0592	1302.7068	0
5	Line	90	0	2	0	2075.0592	1302.7068	0	2	2075.0592	1300.7068	0
6	Line	0	10	0	0	2075.0592	1300.7068	0	10	2065.0592	1300.7068	0
7	Line	180	-0.5	0	0	2074.0592	1302.7068	0	0.5	2074.5592	1302.7068	0
8	Line	180	-0.5	0	0	2074.5592	1302.7068	0	0.5	2075.0592	1302.7068	0
9	Line	90	0	4	0	2074.0592	1306.7068	0	4	2074.0592	1302.7068	0
10	Line	0	15	0	0	2090.0592	1300.7068	0	15	2075.0592	1300.7068	0
11	Line	90	0	10	0	2090.0592	1310.7068	0	10	2090.0592	1300.7068	0

ii) Pontos

Tabela 4 – Pontos da Base de Cálculo do cenário b)

Count	Name	Linetype Scale	Position X	Position Y	Position Z
1	Point	0	2065.0592	1300.7068	0
2	Point	0.25	2090.0592	1310.7068	0
3	Point	0.2	2074.0592	1306.7068	0
4	Point	0.1	2068.0592	1309.7068	0
5	Point	0.17	2075.0592	1300.7068	0
6	Point	0.15	2074.5592	1302.7068	0

Verifique-se que o débito de cada elemento hidráulico é variado, mediante o teste que se quer fazer ao PRP, pelo que nos quadros acima é apenas demonstrativo o valor da coluna “*LineType Scale*”.

### 3.4. CONCLUSÃO

A conclusão que se pode tirar sobre a criação destas Bases de Cálculo para posterior implementação do método de resolução através de dois programas elaborados (os denominados PRP’s) assim como de outros *softwares* comerciais que validarão a análise de resultados, foi que estas se resumiram de uma boa aproximação tanto da realidade em termos conceptuais como da possibilidade de comprovar as funcionalidades mais especificamente dos PRP’s.

Os consumos ou débitos dos elementos hidráulicos podem ser alterados, sempre que o projectista assim o defina, bastando para tal alterar no AutoCAD esse valor (ou outra forma, alterando na folha “*Summary*” do Excel – ver Capítulo 5.2.3.).

O número de linhas e pontos em estudo está de acordo com a ponderação complexidade/ simplicidade pelo que com este número de elementos já se pode obter uma boa aproximação.

Saliente-se ainda que tal como era proposto, os cenários são simplistas no que se refere ao traçado, ou seja, traçados rectos, em que as diversas considerações de simplicidade estão subjacentes, e em consonância com a proposta de resolução.

Conclui-se então que são boas Bases de Cálculo para confirmação de resultados por meio da implementação dos PRP’s.



# 4

## MÉTODO PROPOSTO. PROGRAMAS DE RESOLUÇÃO PROPOSTOS ( PRP's)

### 4.1. INTRODUÇÃO

O método proposto baseou-se na conexão entre o AutoCAD através das Bases de Cálculo, e uma aplicação informática através da criação de um programa (PRP), mais precisamente num ficheiro Excel, o qual incluía uma Macro sob a linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) associada.

A escolha de fazer uma Macro associada ao Excel prendeu-se com vários factores, um dos quais é a proliferação e a acessibilidade que este tipo de programas informáticos têm, além do que é de uso corrente, fácil entendimento, *friendly*, e de muito fácil aplicabilidade, além de que o tratamento de dados é mais fácil numa ferramenta destas. A integração do AutoCAD como fonte de dados com um programa que tratasse esses dados, foi mais um ponto positivo para a adopção deste tipo de *software* uma vez que a exportação de dados do AutoCAD dá-se em ficheiros \*.txt, \*.mdb, \*.csv e \*.xls. O tratamento deste tipo de *outputs* do AutoCAD e ao mesmo tempo de *inputs* do *software* que trata esses dados, poderia ser possível através da programação noutro tipo de linguagem, quiçá até mais rápidas e robustas, mas a relativa simplicidade na linguagem VBA assim como a quase inexistência de necessidade de tratamento dos dados exportados pelo AutoCAD (que seria necessário caso se tratasse de organizar dados do ficheiro \*.txt por exemplo) foi preponderante para a decisão de realizar o programa em VBA aplicado ao Excel. Assim, ao contrário de muitos artigos de investigação que abordam problemas deste tipo de uma forma conceptual e teórica, foi possível criar dois programas que fizessem a aplicação prática de um determinado problema.

O método proposto para a resolução do problema de optimização tem objectivos diferentes, mediante o próprio objectivo a optimizar. Nalguns aspectos eles são similares, como por exemplo, o facto de ter como base uma Teoria de Grafos ligeiramente alterada. (Silva, 2006) propõe nos seus apontamentos algumas abordagens sobre esta teoria. São exemplo os algoritmos de Dijkstra e de Prim que têm uma aplicabilidade razoável neste método proposto de resolução. No entanto algumas alterações serão necessárias implementar a fim de fazer face a diversas especificidades. Desde logo a especificidade de ter no PRP2 uma malha fechada faz com que nem todos os pontos sejam obrigatoriamente pontos de passagem de caudal pelo que se tornaria inútil a utilização cega, pura e simples destes algoritmos.

Os pressupostos subjacentes a estes dois algoritmos, em tudo semelhante, passam por *após a escolha arbitrária de um nó para a raiz da árvore, os nós do grafo são adicionados à árvore um de cada vez até que todos os nós do grafo estejam incluídos. O nó a adicionar à árvore em cada passo é o nó adjacente a um nó da árvore por um arco de menor custo.* (in: Silva, 2006)

Outro facto similar é o cálculo hidráulico subjacente aos dois PRP's. Ambos encerram em si a optimização do custo no dimensionamento das condutas, pelo que toda a teoria por detrás dos cálculos hidráulicos teve de ser assimilada e concretizada em ambos os programas.

## **4.2. MOTIVAÇÕES**

A motivação para a criação destas propostas deveu-se ao facto de que através da análise de diversos programas informáticos comerciais deparamo-nos com algumas debilidades que estes encerram em si. Desde logo não era possível utilizar a ferramenta de DAC num cálculo automático de cálculo. Por exemplo o *software* "Cype"<sup>7</sup> permite a exportação de um ficheiro .dwg, porém apenas como imagem que se coloca atrás da paleta de desenho. Assim, todo o trabalho realizado no *software* de DAC é em vão, uma vez que é necessário repetir o traçado das linhas para o posterior cálculo. Outro facto relevante foi que até à altura este programa informático, assim como os demais deste âmbito, não fazem a integração automática com os custos, ou seja, apenas é possível conhecer uma estimativa de custos através de um pacote comercial comprado à parte e que apenas consegue simular para uma instalação *standard* tendo em conta o número de elementos sanitários. Pelas informações recolhidas, esta integração com os custos vai estar disponível para este *software* "Cype" em cerca de um ano, pelo que até à altura é uma preocupação do projectista para poder avaliar em tempo real em que valor vai o custo da sua instalação de forma a poder preferir de um determinado traçado em função de outro mais caro se outras condicionantes (como por exemplo a qualidade) assim o exigirem. Outro factor que criaria mais valia em comparação com o existente seria criar uma ferramenta que possibilitasse a alteração de certas condutas para diâmetros maiores se tivéssemos perante um valor inferior ao pretendido de pressão no ponto mais desfavorável. Nestes casos seria escusado calcular todo o traçado novamente ou deixar de lado a possibilidade de adoptar tal traçado, uma vez que bastaria alterar alguns diâmetros, de forma automática, para que as perdas de carga fossem menores, logo uma maior pressão no ponto mais desfavorável.

Por ser uma abordagem relativamente simples e importante para ganhar conhecimentos elementares e fundamentais, por ser um excelente ponto de partida para outras abordagens mais complexas (PRP2) e por poder colmatar as três grandes debilidades dos *softwares* comuns mencionadas anteriormente, foi então criada a PRP1.

A motivação da qual nasceu o interesse em criar o PRP2 deveu-se ao facto de se achar que este tipo de procedimentos carecia de uma maior optimização pelo facto de estar à mercê da maior ou menor inspiração do projectista aliado obviamente à capacidade de perceber o projecto, por parte deste, adquirida entretanto pela experiência de trabalhos semelhantes. Sentiu-se então que a optimização estava um pouco elementar e sem grande inovação apesar de na PRP1 estar já introduzida a grande vantagem da integração da ferramenta de DAC com o processo de cálculo.

Nessa óptica, e através da análise dos vários *softwares* comerciais, deparamo-nos com o facto de não haver no mercado um programa informático que proponha uma optimização de raiz de um sistema de abastecimento de água; o que disponibilizam são ferramentas que apenas calculam hidráulicamente todo o traçado previamente introduzido, ou seja em malha aberta. Assim, poder-se-á estar desde logo a tentar optimizar custos conhecendo os diâmetros mínimos que satisfaçam determinadas condições, tendo como base uma solução que por si só não é ótima! Nasceu assim a ideia de tentar conciliar e integrar a optimização a nível de cálculos com o trajecto que leva todos esses pressupostos ao menor

---

<sup>7</sup> Software desenvolvido pela espanhola *Cype-Ingenieros* e comercializada em Portugal pela *Top-Informática*

custo da instalação, preconizada na PRP2, em que a decisão do menor custo leva a um processo iterativo e computacional de entendimento do sistema em malha fechada.

Obviamente que algumas simplificações e predeterminações tiveram de ser feitas. Desde logo os traçados são rectilíneos, porém, considera-se uma boa abordagem do fenómeno. Outro factor é a impossibilidade de otimizar os traçados estando as pressões também em jogo (no caso PRP2). No entanto, após o delinear da solução otimizada de custo através do traçado hidráulico mais económico, poder-se-á recorrer ao PRP1, que com esse traçado delineado possibilita a otimização de pressões, colmatando assim esta debilidade do PRP2.

Outra motivação suplementar foi tentar integrar este processo que tem algo de teórico e matemático, num *software* prático, simples, rápido e eficaz e que integrasse com a ferramenta mais utilizada de DAC, o AutoCAD.

### 4.3. BASES DOS PRP'S

As bases por detrás dos programas de resolução otimizada propostos são várias.

Desde logo temos a necessidade de **uniformização de procedimentos em AutoCAD** que nos levam a uma exportação de dados coerente com a realização do programa.

Após a exportação de dados para o Excel é fundamental um correcto posicionamento desses dados no ficheiro Base do Excel, ou seja, fazer uma **correcta importação dos mesmos para o Excel** de forma a que a automatização do processo de optimização seja feito de forma *standard*.

No que concerne já à própria algoritmia e programação, há conceitos e bases que foram indispensáveis para a concretização do projecto em causa. Enche-se de importância a gestão de toda a informação provenientes de pontos, linhas, ligações de pontos, etc., de forma a que a Teoria de Decisão do caminho a tomar seja a mais correcta. Não menos importante é a base do conhecimento do **cálculo hidráulico** subjacente a todos os cálculos efectuados interagidos com o processo decisório

O PRP1 e o PRP2 são distintos pois têm especificidades diferentes. No entanto, conceptualmente, vão integrar as bases no seu processo pelo que se explana mais detalhadamente cada uma dessas bases:

#### 4.3.1. EXPORTAÇÃO DOS DADOS DO AUTOCAD\_2008

A importância deste tipo de uniformização é fulcral para um correcto tratamento dos dados a jusante.

Primeiramente a pesquisa por uma ferramenta que fizesse a exportação de pontos e linhas culminou com o encontrar de um *software* denominado por [\*"PointsExportAC"\*](#). Este *software* permitia a exportação das coordenadas dos pontos, mas apenas destes, para um formato Excel ou de texto, não tendo a possibilidade de reconhecer as linhas.

Contudo, intensificando a busca por um *software* capaz de também exportar linhas, verificou-se que a versão do AutoCAD 2008 já traz essa funcionalidade. Por esse facto, preteriu-se do *software* acima mencionado e utilizou-se o AutoCAD2008 para fazer essa exportação.

#### 4.3.2. IMPORTAÇÃO DOS DADOS PARA O EXCEL

A importação correcta dos dados para o Excel foi de fácil domínio uma vez que bastou apenas colocar correctamente os dados obtidos pela exportação do AutoCAD na folha de cálculo correspondente ao ficheiro Base criado em Excel.

#### 4.3.3. BASES DA PRÓPRIA ALGORITMIA E PROGRAMAÇÃO

A base fundamental da algoritmia e programação na realização desta tese tem a ver, por um lado, com entendimento do processo de descortíneo e de concepção em termos algorítmicos, e por outro, da própria linguagem de programação (neste caso a VBA) no que concerne à implantação prática das concepções ideológicas de resolução do problema.

Em termos de algoritmia, mais do que livros, é a forma estruturada de pensar que marca a diferença. Livros há que foram úteis para a realização desta tese. (Antunes) aborda vários casos da aplicação da Investigação Operacional assim como (Hillier, 2001) disponibiliza um excelente livro de Investigação Operacional. Estes livros foram então bastante benéficos para o próprio entendimento do que estava subjacente a esta problemática.

Quanto à programação, esta revestiu mais de suor do que de inspiração, uma vez que a aprendizagem de uma nova linguagem de programação implica esforço, gosto e alguma experimentação. Neste contexto, (Loureiro, 2005) foi um poderoso suporte de aprendizagem.

Intrínseco à algoritmia e à programação outros conceitos estão presentes. Enumere-se.

##### 4.3.3.1. A Teoria de Decisão

Neste âmbito foi indispensável a compreensão de como se encadeavam as tubagens (linhas ou trajectos). Para tal foi útil (Silva, 2006) anteriormente referido que indicava diferentes formas de algoritmos de decisão. Estes algoritmos, nomeadamente os de Dijkstra e de Prim funcionaram como uma boa base, apenas isso, uma vez que entendido o conceito, a adaptação ao PRP foi necessária e revelou-se mais complexa que o enunciado por estes autores.

No que diz respeito especificamente à Teoria de Grafos, (Szwarcfiter) proporcionou uma boa fonte de conhecimento.

A fase de percepção, adequação e integração dos conhecimentos adquiridos na mais vasta literatura consultada para idealização do PRP2 foi a mais penosa, uma vez que requereu muita imaginação e algumas ideias inovadoras, ou talvez, apenas uma outra forma de abordar o problema. Assim, para uma significativa parte do algoritmo, a base da ideologia partiu não da literatura disponível, mas sim de uma forma estruturada de pensar. Um exemplo disso foi a parte do PRP2 que por ser uma malha fechada requereu a percepção de que o escoamento, em determinada altura, poderia ser susceptível de inverter o sentido, o que implicaria uma mudança não só no troço a analisar mas também em todos os trajectos porquanto faziam desse troço a ligação entre um determinado ponto e a origem<sup>8</sup>. Foi complexo perceber as implicações deste estudo de “Reversibilidade do Escoamento”.

---

<sup>8</sup> Explique-se diferença de troço e de trajecto: trajecto é o somatório dos diferentes troços, em que cada troço corresponde ao segmento de recta que liga dois pontos (principais, secundários ou ambos)

Resumindo, a Teoria de Decisão teve suporte em alguma literatura relevante, mas também numa forma autodidáctica de programar e num esforço por compreensão da problemática em questão, implicações em causa e formas mais ou menos inovadoras de solucionar a questão.

#### 4.3.3.2. O Cálculo Hidráulico

Como base do cálculo hidráulico teve-se em consideração alguma bibliografia. Desde logo o RGSPDADAR<sup>9</sup> como base regulamentar fundamental. Além deste, (Medeiros, 2007) foi uma importante fonte de informação de como se deveria proceder ao cálculo hidráulico de um determinado sistema de abastecimento de águas. Todos os passos, todas as teorias, todas as tabelas necessárias de dimensionamento e todas as fórmulas necessárias foram extraídas deste compêndio de informação. (Pedroso, 1999) proporcionou ainda uma importante fonte de informação, no que se refere especificamente a regras de dimensionamento dos sistemas prediais de distribuição de água. Uma outra fonte importante foi o [site da EPAL](#), em que tal como no anterior registo bibliográfico, encerra em si um manual detalhado de como proceder a um correcto dimensionamento hidráulico. Contém também várias tabelas, fórmulas, e demais informação relevante que possibilitam uma melhor percepção do tema em si.

Existem vários *softwares* que são comumente utilizados pelos projectistas no dimensionamento hidráulico. Talvez o de maior utilização seja o módulo “Instalações de Edifícios” do *software* “Cype”. Assim, este *software* serviu também como base, não só para comparação de resultados, comparação de procedimentos e formas conceptuais, como também para obter da sua base de dados de materiais e preços toda a informação que seria indispensável usar nos PRP’s otimizados. Desta forma, todos os *inputs* intrínsecos aos materiais foram obtidos através da base de dados deste *software* de utilização generalizada.

---

<sup>9</sup> “Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais”

#### **4.4. TEORIA SUBJACENTE AO CÁLCULO HIDRÁULICO**

Para um correcto dimensionamento hidráulico há um procedimento generalizado que se passa a explicar. Além desse procedimento-tipo acha-se conveniente explicar, de forma resumida, a teoria por detrás do cálculo hidráulico adoptado nas propostas de resolução.

##### **4.4.1. PROCESSO GENERALIZADO DE CÁLCULO HIDRÁULICO**

**a)** Determinar os caudais acumulados para cada troço, através da soma dos caudais instantâneos unitários dos dispositivos a servir por esse mesmo troço.

Neste ponto deve ser contabilizado o consumo de água quente, admitindo que o respectivo equipamento de produção corresponde a um dispositivo de utilização, cujo caudal instantâneo não deve ser inferior a 0,25 l/s (esquentador de 15 l/min);

**b)** Transformar os caudais acumulados em cada troço, em caudais de dimensionamento através do método das Curvas de transformação do caudal de cálculo acumulado em caudal de dimensionamento.

**c)** Efectuar o levantamento das características dos materiais usados, tais como diâmetros nominais, diâmetros interiores, gamas de aplicabilidade e parâmetros relativos a esses mesmos materiais.

**d)** Atribuir diâmetros para cada troço, de forma a fixar as velocidades entre a mínima e a máxima.

**e)** Calcular a velocidade de escoamento, em função do diâmetro interior;

**f)** Determinação das perdas de carga unitárias para cada troço, através da fórmula seleccionada.

**g)** Calcular as perdas de carga contínua em cada troço, através da multiplicação da perda de carga unitária pelo comprimento desse troço;

**h)** Contabilização das perdas de carga localizadas;

**i)** Determinar a perda de carga total em cada ponto de cálculo, que deverá abranger pelo menos os dispositivos de utilização em situação mais desfavorável, através do somatório entre as perdas de carga de percurso e as localizadas;

**j)** Calcular a pressão disponível nos dispositivos em situação mais desfavorável, através da contabilização do desnível geométrico e da perda de carga total, tendo em conta a pressão disponível na rede geral de abastecimento e a cota a que a mesma é garantida;

**k)** Verificar a pressão máxima estática, prevista no dispositivo instalado à cota mais baixa. Se este valor for superior a 600 kPa, deverão ser previstas válvulas reductoras de pressão, e alargada a verificação de sobrepressões aos restantes dispositivos.

**l)** Se necessário, reajustar os diâmetros inicialmente admitidos, e efectuar novamente o cálculo, até que as condições de abastecimento pretendidas sejam atingidas.

#### 4.4.2. DISPOSIÇÕES TEÓRICAS

##### 4.4.2.1. Caudais instantâneos

Os consumos instantâneos considerados para cada aparelho são os que constam no Anexo do Regulamento Nacional.

Tabela 5 – Consumos Instantâneos regulamentares

<b>Designação</b>	<b>Abrev.</b>	<b>Caudais inst. [l/s]</b>
Lavatório Individual	Lv	0,1
Lavatório colectivo (por unidade)	Lvcol	0,05
Bidé	Bd	0,1
Banheira	Ba	0,25
Chuveiro individual	Ch	0,15
Bateria de chuveiros (por unidade)	Chcol	0,1
Autoclismo de bacia de retrete	Br	0,1
Autoclismo de mictório (por unidade)	Mic	0,05
Pia lava-louça	LI	0,2
Pia de despejo	Piadesp	-----
Bebedouro	Be	0,1
Maquina de lavar louça	Mll	0,15
Maquina de lavar roupa	Mlr	0,2
Tanque de lavar roupa	Tq	0,2
Fluxómetro de bacia de retrete	Fbr	1,5
Fluxómetro de mictório	Fmic	0,5
Boca de rega/lavagem, diâmetro = 15mm	Blav15	0,3
Boca de rega/lavagem, diâmetro = 20mm	Blav20	0,45
Equipamento produtor de água quente (esquentador)	Esq	0,25
Máquinas industriais e outros aparelhos não especificados	Outros	-----

No que concerne ao caudal instantâneo dos dispositivos de utilização de água quente, este é considerado idêntico ao caudal instantâneo da água fria.

##### 4.4.2.2. Caudais acumulados

O caudal acumulado é definido para cada troço, através do somatório dos caudais instantâneos dos dispositivos de utilização alimentados por esse mesmo troço.

##### 4.4.2.3. Caudais de dimensionamento ou caudais de cálculo

A determinação do caudal de dimensionamento resulta da afectação do caudal acumulado através de um factor multiplicativo, normalmente resultante da adaptação de dados estatísticos, que tem como objectivo estabelecer valores próximos da realidade, no que respeita ao consumo de água.

Métodos para o cálculo do caudal de dimensionamento:

- Método dos pesos
- Método do coeficiente de simultaneidade modificado
- Curvas de transformação do caudal de cálculo acumulado em caudal de dimensionamento

Na presente tese e no cálculo hidráulico subjacente ao PRP irá ser utilizado o último método cujo caudal de dimensionamento, indicado pela legislação vigente, o Decreto Regulamentar N.º 23/95, de 23 de Agosto, consiste numa curva de transformação de caudais acumulados em caudais de dimensionamento (em l/s). A referida curva está associada a um nível de conforto sendo as equações as seguintes:

Para um nível de conforto mínimo:

$$Q_{\text{dim}} = 0.5099 \times Q_{\text{acum}}^{0.5092} \rightarrow Q_{\text{acum}} \leq 3.5 \quad (1)$$

$$Q_{\text{dim}} = 0.4944 \times Q_{\text{acum}}^{0.5278} \rightarrow 25 \geq Q_{\text{acum}} > 3.5 \quad (2)$$

$$Q_{\text{dim}} = 0.223 \times Q_{\text{acum}}^{0.7561} \rightarrow 500 \geq Q_{\text{acum}} > 25 \quad (3)$$

Para um nível de conforto médio:

$$Q_{\text{dim}} = 0.5469 \times Q_{\text{acum}}^{0.5137} \rightarrow Q_{\text{acum}} \leq 3.5 \quad (4)$$

$$Q_{\text{dim}} = 0.5226 \times Q_{\text{acum}}^{0.5364} \rightarrow 25 \geq Q_{\text{acum}} > 3.5 \quad (5)$$

$$Q_{\text{dim}} = 0.2525 \times Q_{\text{acum}}^{0.7587} \rightarrow 500 \geq Q_{\text{acum}} > 25 \quad (6)$$

Para um nível de conforto elevado:

$$Q_{\text{dim}} = 0.6015 \times Q_{\text{acum}}^{0.5825} \rightarrow Q_{\text{acum}} \leq 3.5 \quad (7)$$

$$Q_{\text{dim}} = 0.5834 \times Q_{\text{acum}}^{0.5872} \rightarrow 25 \geq Q_{\text{acum}} > 3.5 \quad (8)$$

$$Q_{\text{dim}} = 0.3100 \times Q_{\text{acum}}^{0.7750} \rightarrow 500 \geq Q_{\text{acum}} > 25 \quad (9)$$

#### 4.4.2.4. Velocidades

O limite inferior da velocidade de escoamento de água é fixado regularmente em 0,5m/s, de forma a serem evitadas sedimentações nas tubagens.

O valor máximo foi fixado, de acordo com a expressão aconselhada em vários livros da especialidade, em  $14\sqrt{D}$  que, em qualquer circunstância, não deverá ultrapassar 2m/s, no intuito de evitar ruídos e vibrações nas canalizações e fortes golpes de aríete.

No entanto os valores aconselhados serão de 0.6 m/s para a mínima e 1.8 m/s para a máxima.

#### 4.4.2.5. Diâmetro teórico de cálculo para velocidade máxima

O valor do diâmetro teórico de cálculo para a velocidade máxima é calculado tendo em consideração algumas fórmulas conhecidas. Desde logo  $Q=U \times S$  (10). Sabe-se ainda que  $S = \pi \times r^2 = \pi \times \frac{D^2}{4}$  (11), logo

se conclui que  $D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times U}}$  (12).

#### 4.4.2.6. Diâmetro interior, diâmetro comercial e preço por metro de tubagem

Após se verificar qual o diâmetro teórico de cálculo é necessário implantar um diâmetro para esse troço. Obviamente esse diâmetro interior terá de ser igual ou superior ao teórico uma vez que não se pode exceder a velocidade máxima. Assim percorre-se a base de dados das tubagens e se encontram esses valores, mediante o tipo de tubagem escolhido.

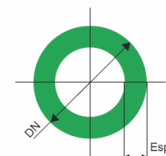


Fig. 3 – Diâmetros

#### 4.4.2.7. Velocidade real

Tendo conhecido o valor do diâmetro interior a implementar assim como o caudal de cálculo que passa nessa tubagem, e através da fórmula  $U = \frac{Q}{\pi \times D^2 / 4}$  (13) se pode conhecer o valor da velocidade real.

#### 4.4.2.8. Custo do traçado

É possível conhecer o custo associado a esse troço ou mesmo a todo traçado até então calculado, fazendo a multiplicação do comprimento com o preço por metro de cada troço.

#### 4.4.2.9. Perdas de carga

O dimensionamento dos sistemas prediais de abastecimento de água é efectuado de forma faseada através de um processo iterativo.

A perda de carga unitária adoptada na programação foi dada pela fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (14)$$

Tendo em conta que o Número de Reynolds  $Re = \frac{UD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu}$  (15) e  $U = \frac{Q}{S}$  (16) e efectuando-

se a seguinte substituição de variável  $x = \frac{1}{\sqrt{f}}$  (17) resulta a seguinte expressão iterativa:

$$x_{n+1} = -2 \log \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{2,51 \times \pi \times D \times \nu}{4Q} x_n \right) \quad (18). \text{ Conhecido que } x = \frac{1}{\sqrt{f}} \quad (19), \text{ e tendo em conta que}$$

$f = \frac{JD}{U^2 / 2g}$  (20), chega-se então à fórmula iterativa tendo como base a perda de carga como sendo:

$$j_{n+1} = \left( \frac{1}{-2 \log \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{2,51 \times \pi \times D \times \nu}{4Q} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{j_n \times D \times 2g}{U^2}}} \right)} \right)^2 \times \frac{U^2}{2g \times D} \quad (21)$$

Sendo:

Q - caudal em [m<sup>3</sup>/s]; f - factor de resistência; D - diâmetro interior da secção em [m]; K - rugosidade absoluta equivalente em [m];  
 ν - coeficiente de viscosidade dinâmica em [m<sup>2</sup>/s]; g - aceleração da gravidade em [m/s<sup>2</sup>]; j<sub>n+1</sub> – Valor da perda de carga na iteração seguinte.

Na primeira iteração e como primeira abordagem coloca-se o valor unitário. Esta iteração com 10 cálculos sucessivos converge muito rapidamente, pelo que é mais do que suficiente esse número de iterações. Veja-se um excerto de programação do cálculo iterativo da perda de carga:

```
For v = 1 To 10
j(v) = ((1 / (-2 / Log(10) * Log(kk / 1000 / 3.7 / (temp_trajectos(t, 20) / 1000) + 2.51 * Pi * (temp_trajectos(t, 20) / 1000) *
coef_visc / (4 * temp_trajectos(t, 14))) * (1 / (j(v - 1) * (temp_trajectos(t, 20) / 1000) * 2 * 9.81 / (temp_trajectos(t, 15) *
temp_trajectos(t, 15))) ^ 0.5)))) ^ 2) * (temp_trajectos(t, 15) ^ 2) / (2 * 9.81 * ((temp_trajectos(t, 20) / 1000)))
Next
```

É usual recorrer a um método expedito para o cálculo de perdas totais que entre com as singularidades como por exemplo cotovelos, dobras e demais obstáculos. Assim, através da bibliografia especializada verifica-se que este valor está usualmente compreendido entre 15 a 25%, tendo sido 20% o valor adoptado.

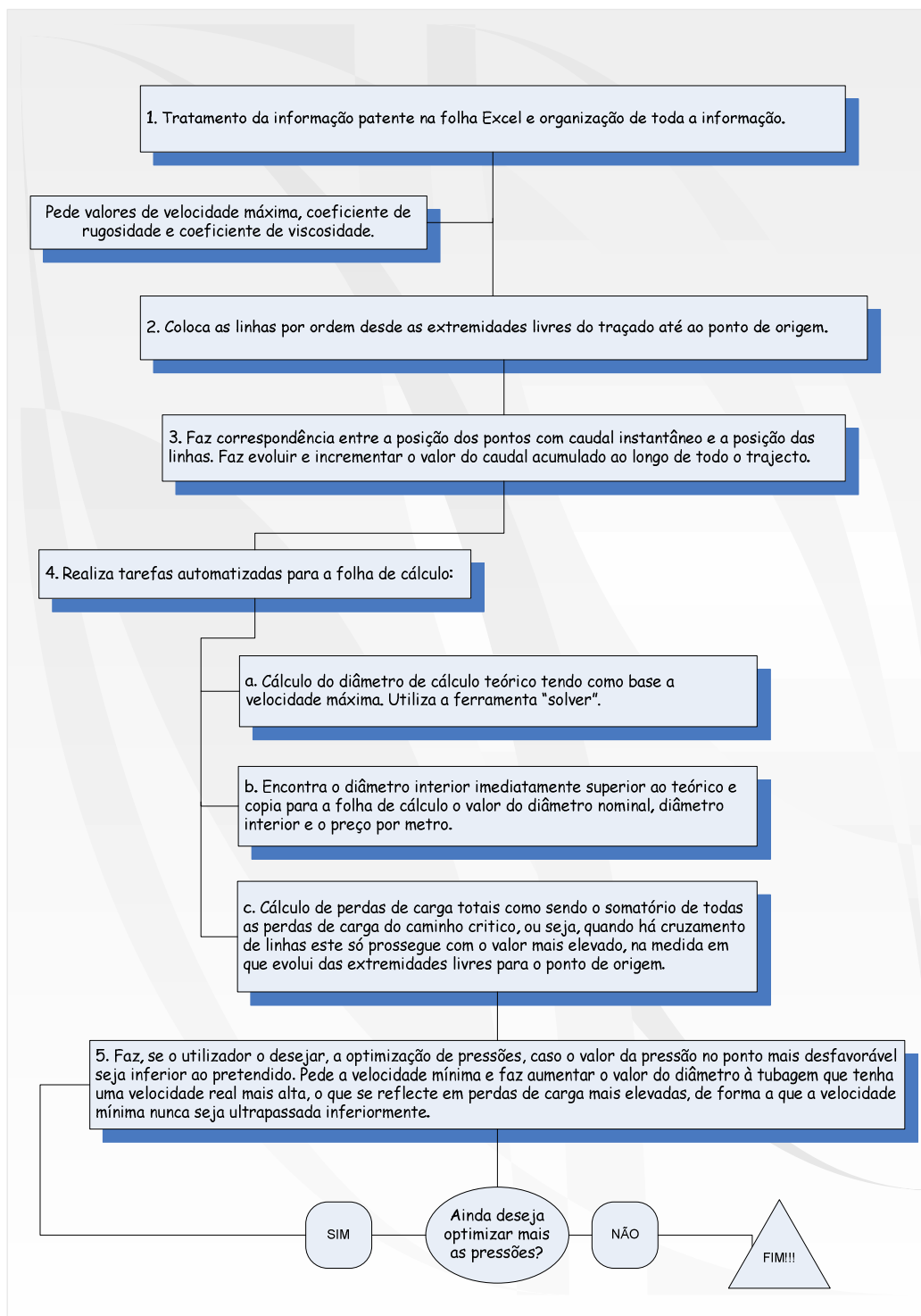
#### 4.4.2.10. Pressões

A pressão mínima regulamentar a garantir em cada aparelho instalado é de 5 m.c.a., não devendo no entanto ultrapassar os 60 m.c.a. Assim, através da subtracção do valor da pressão inicial dada com o valor resultante do somatório de todas as perdas de carga do caminho crítico, se obtém a pressão mais desfavorável.

#### 4.5. RESUMO DOS PRP'S NA SUA VERTENTE DE ALGORITMIA/PROGRAMAÇÃO

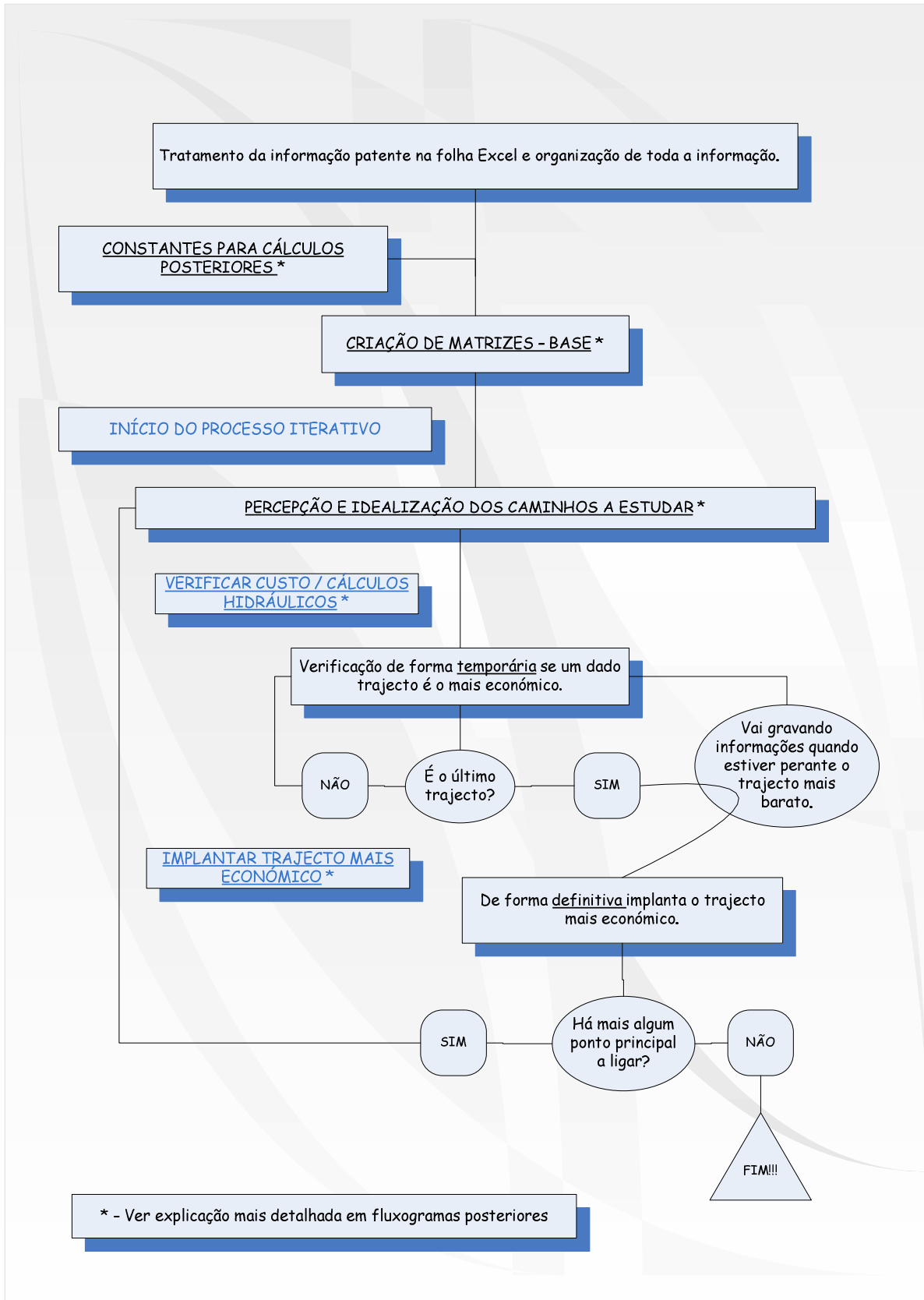
Como forma de resumo dos dois programas de resolução otimizada proposta achou-se conveniente elaborar fluxograma(s) para cada um deles.

##### 4.5.1. PROGRAMA 1

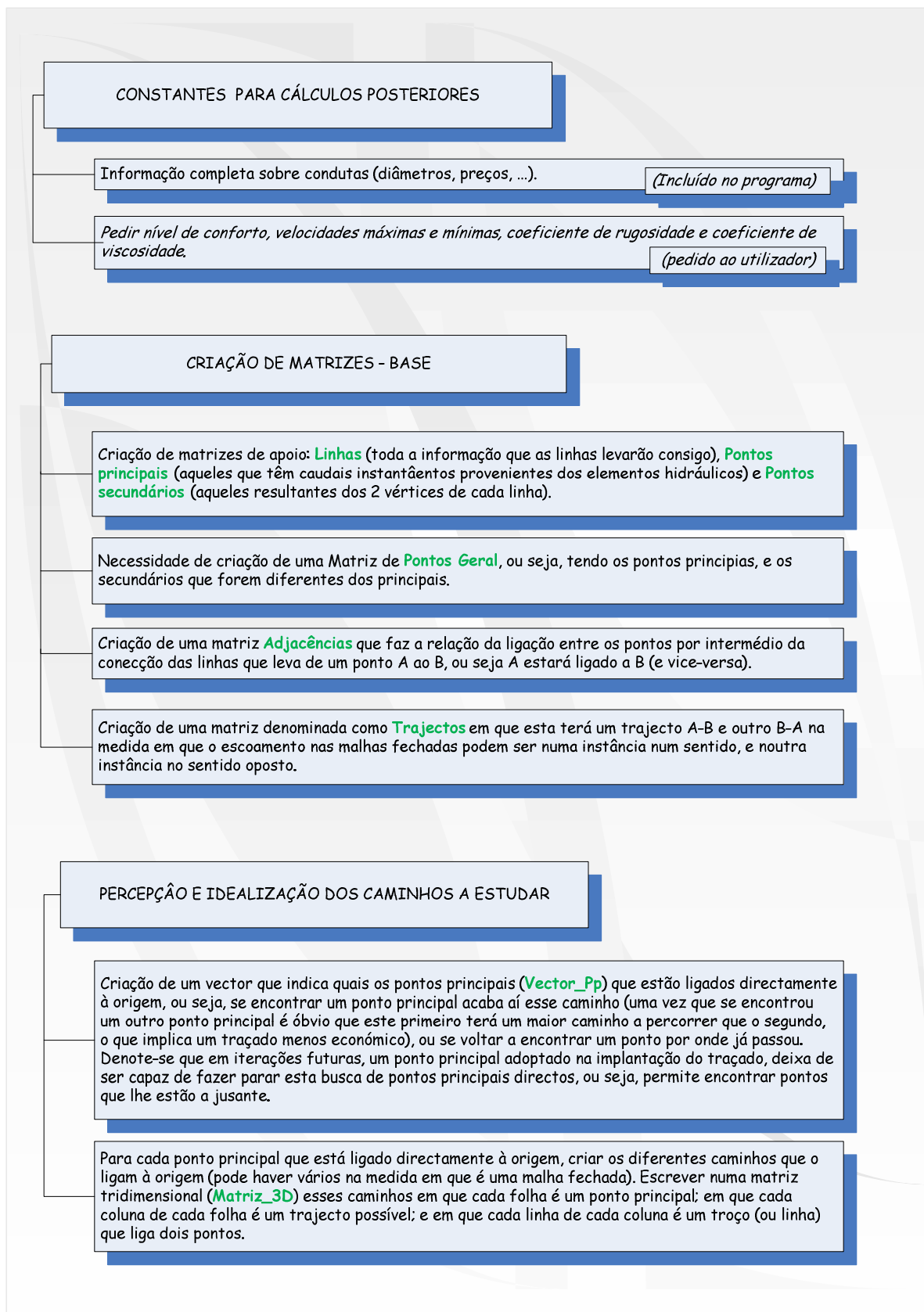


Fluxograma 1 – PRP1

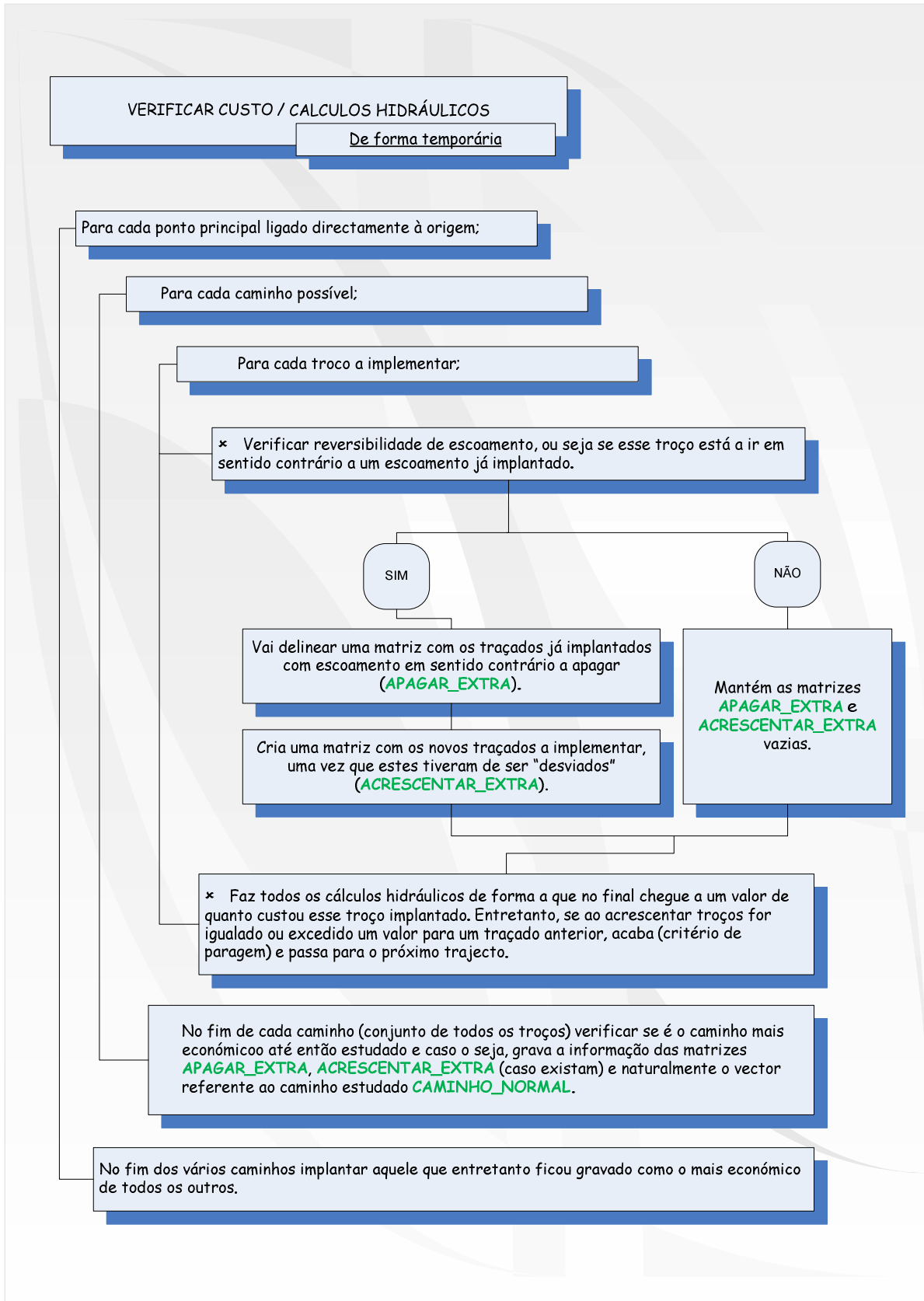
4.5.2. PROGRAMA 2



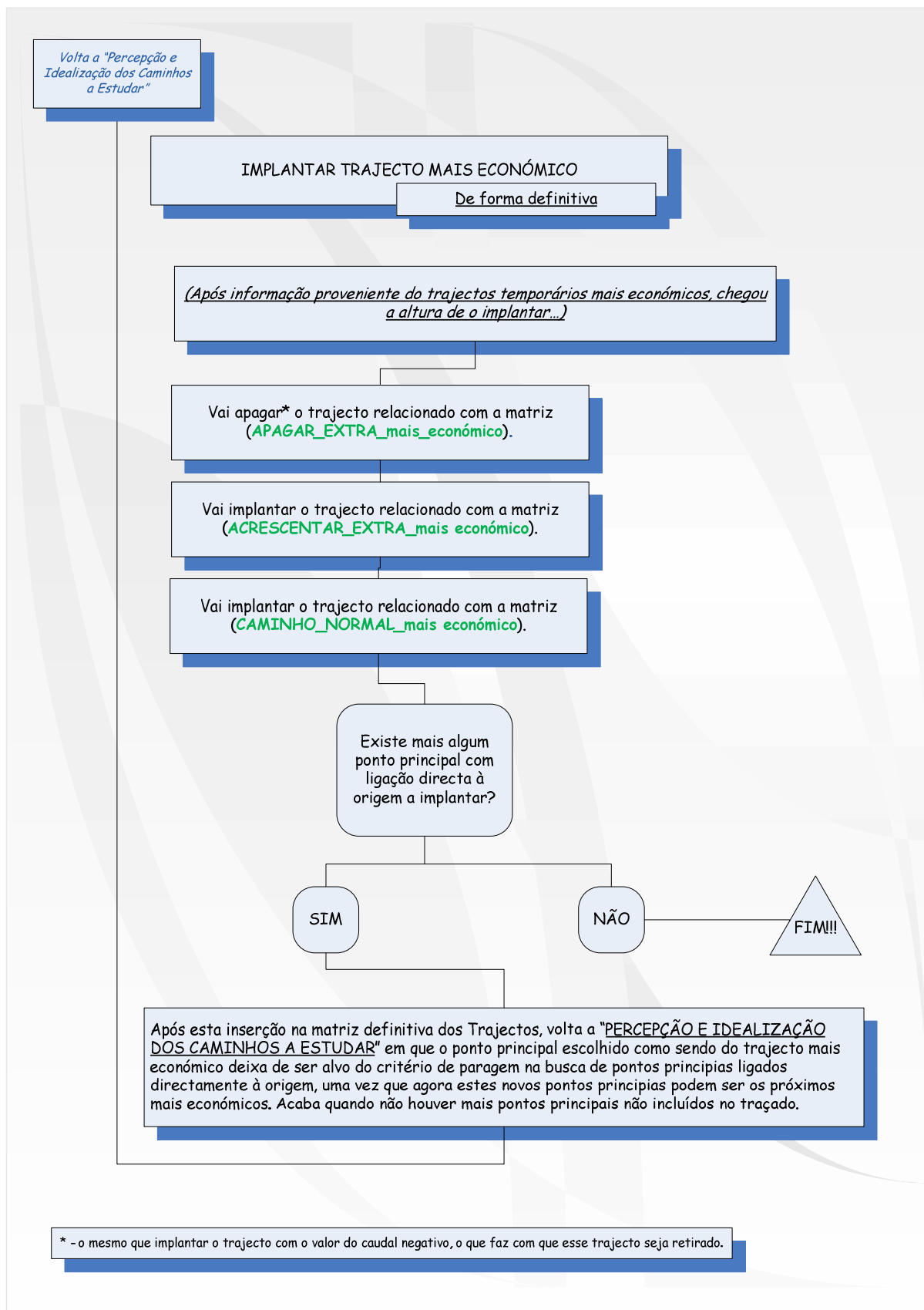
Fluxograma 2 – PRP2 generalizado



Fluxograma 3 – PRP2 mais em pormenor (1 em 3)



Fluxograma 4 – PRP2 mais em pormenor (2 em 3)



Fluxograma 5 – PRP2 mais em pormenor (3 em 3)

## **4.6. DESCRIÇÃO DOS PRP'S**

De forma mais específica aborde-se cada um dos programas elaborados e descreva-se quais as ideologias de procedimento de forma a atingir determinados objectivos. A própria explicação residirá em formato conceptual ou algorítmica, uma vez que em termos de programação, cada linguagem tem a sua particularidade e não se julgue conveniente transcrever as mais de 4.000 linhas de código em que consistiu por exemplo o PRP2. Essas mais de 4.000 linhas de código em VBA são linhas que encerram em si para além do próprio código, explicações ao longo do programa para uma maior facilidade de entendimento, na resolução de qualquer futuro “bug”, assim como é uma boa forma de organização e esquematização conceptual do próprio programa.

### **4.6.1. PROGRAMA 1**

O PRP1 foi concebido para fazer face ao cálculo hidráulico de uma malha aberta assim como para possibilitar a interacção entre um programa de DAC e um programa que possibilitasse o cálculo hidráulico.

Neste programa proposto adoptou-se por ter duas formas diferentes mas interligadas que possibilitasse o cálculo. Por um lado a inclusão de fórmulas nas células que fazem o cálculo automático, e por outro lado a elaboração de uma Macro que possibilite outros cálculos.

#### **4.6.1.1. Descrição**

Primeiramente é indispensável uma conveniente exportação dos dados do AutoCAD e uma importação para o Excel como é transmitido no [Capítulo 5.2](#). De seguida é necessário correr a Macro.

Como corre todo o processo de dimensionamento?

Pois bem, entre-se agora no processo de descrição do próprio método. Numa primeira fase é fundamental organizar toda a informação nas folhas do próprio Excel de forma a colocar em cada folha os dados referentes às linhas e aos pontos. De seguida pede-se alguns valores como sendo a velocidade máxima a considerar, o coeficiente de rugosidade e o coeficiente de viscosidade. Posteriormente, e apesar da utilidade da exportação do AutoCAD, esta exportação vem com alguns valores que o Excel não reconhece como números, pelo que é necessário converter todas essas células de forma automática.

Chegados a esta fase deparamo-nos com a problemática do tratamento de dados que tem a ver com a Teoria de Decisão, ou seja, como tratar os dados e como percepcioná-los de forma a que os objectivos sejam alcançados. Dessa forma chegou-se à conclusão de que a maneira mais simples seria considerar o início do processo os vértices das linhas mais a jusante, e que a escolha do traçado se desenvolveria até à origem, ou seja até ao ponto de entrada do abastecimento de água. Assim se criou um processo em que se andava, pode-se dizer, do fim para o princípio, ou mais correctamente, de jusante para montante.

Para um entendimento de como se poderia agarrar o problema decidiu-se fazer uma abordagem a todos os pares de coordenadas de cada vértice aliados a cada linha, de forma a que se entendesse quantos pares coordenados eram singulares, ou seja, seriam estes os vértices mais a jusante do traçado. Dessa forma para cada par de coordenadas único de cada vértice se denominava como “vértice inicial” de uma dada linha, em que o outro vértice oposto dessa mesma linha seria o vértice que iria dar continuidade à ligação do traçado, ou também denominado como “vértice final”. Após uma primeira iteração foi-se capaz de implantar as primeiras linhas representativas das condutas mais a jusante do

escoamento, pelo que em iterações subsequentes se tentaria encontrar qual o vértice que se ligaria com os vértices finais das linhas já implantadas, até se chegar ao ponto de origem. Entretanto teve-se o cuidado de nunca considerar a extremidade livre do ponto de origem (já que este também é uma extremidade livre, mas ao contrário do pretendido não é do troço mais a jusante e sim do troço mais a montante do escoamento), bem como de se ir somando o valor dos caudais instantâneos, passando-os para acumulados, à medida que se passava por um vértice com caudal instantâneo preconizado por um elemento hidráulico, representado no traçado por vértices solitários com um caudal associado.

Nesta fase entram as fórmulas programadas na própria folha de “Calculos” do Excel. Assim, é automaticamente calculado o caudal de dimensionamento através das fórmulas inscritas no Capítulo 4.4.2.3. correspondentes ao nível de conforto médio.

Posteriormente, e de volta à Macro, é calculado o diâmetro teórico para a velocidade máxima, através da ferramenta “*Solver*”<sup>10</sup>, assim como o diâmetro interior imediatamente superior ao teórico, uma vez que a velocidade máxima não pode ser excedida. Os valores de diâmetro nominal e o preço por metro são também inseridos nas células correspondentes, informações essas referentes a diferentes tipos de tubagens constantes nas folhas do próprio ficheiro Excel.

Nesta altura, as fórmulas automáticas da folha de Cálculo do Excel possibilitam o cálculo do preço dessa conduta como sendo a multiplicação do preço por metro de conduta com os metros dessa mesma conduta.

No que diz respeito às perdas de carga está já na folha de cálculo do Excel a forma iterativa para o seu cálculo, mediante fórmula (21) deduzida no Capítulo 4.4.2.9.

Agora é necessário saber qual a perda de carga total de um determinado traçado. É óbvio que não será o somatório de todas as perdas de carga das condutas, mas apenas a do caminho crítico, pelo que foi necessário considerar o escoamento desta vez de montante (origem) até jusante de forma a que as perdas de carga fossem somadas mediante a maior perda de carga até então, espelhada no seu troço antecessor.

De seguida há a possibilidade de otimizar as pressões, ou seja se estivermos perante uma situação em que a perda de carga máxima num dado ponto mais gravoso é ligeiramente excedida, há a possibilidade de, fazendo aumentar o diâmetro da conduta com maior velocidade (logo, com maior perda de carga), diminuir essa perda de carga, logo aumentar a pressão nesse dado ponto mais desfavorável uma vez que a pressão disponível é a pressão do abastecimento na origem retirada da perda de carga no ponto mais desfavorável.

Para esta situação é necessário conhecer a velocidade mínima de forma a que com o aumento dos diâmetros não se caia em velocidades abaixo das mínimas regulamentares. Outra questão é salvaguardar que há diâmetros comerciais que dão resposta a tais solicitações. Muito importante é ainda o facto de que esta escolha criteriosa de aumento de diâmetros, para baixar as perdas de carga, apenas aconteça nos troços pertencentes ao caminho crítico, uma vez que noutros troços que não pertençam ao caminho crítico, esta alteração não faria baixar a perda de carga máxima.

Desta forma se chega ao traçado otimizado no que diz respeito à salvaguarda dos pressupostos que se quiseram atingir, nomeadamente o dimensionamento otimizado de menor custo associado ao cálculo hidráulico regulamentar, através de uma malha aberta, e em que se possam condicionar as perdas de carga e consequentemente as pressões, aumentando os diâmetros.

---

<sup>10</sup> Ferramenta disponibilizada pelo Excel.

#### 4.6.2. PROGRAMA 2

O PRP2 foi concebido para fazer face ao cálculo hidráulico de uma malha fechada, desconhecido o traçado a implantar, assim como possibilitar a interação entre um programa de DAC e um programa que possibilitasse a verdadeira optimização de custos na concepção de um trajecto pré-inexistente.

Neste programa, ao contrário do primeiro, adoptou-se fazer uma grande aplicação em termos de programação (Macro) em detrimento do uso sistemático das folhas de cálculo do Excel, o que confere uma maior rapidez nos cálculos. Assim, foi necessário a criação de várias matrizes para incorporar em si, todos os valores necessários a cálculos futuros. A utilização das folhas de Excel apenas serviu para validar o correcto funcionamento da Macro, assim como para devolver os resultados finais.

Este programa é bastante mais complexo do que o primeiro. Neste, o processo iterativo, assim como a constante verificação do custo mínimo para todas as possibilidades, é a base de todos os cálculos, o que confere de forma negativa uma lentidão acrescida pelo facto de “varrer” todas as possibilidades de trajectos. Essa abordagem dos trajectos possíveis teve de ser criteriosa, de forma a que não fossem verificados trajectos desnecessários, em que se saberia que iria dar um valor menos económico, bem como outros critérios de paragem que foram implantados ao longo do programa, para que o processo de cálculo fosse mais célere sem nunca descorar da qualidade decisória.

Este programa incrementa em si, inerente ao facto de ser uma malha fechada, uma complexidade superior no que diz respeito à possibilidade de reversibilidade do escoamento, ou seja, é possível que o escoamento sofra alteração do seu sentido, se na abordagem de um determinado troço se constatar um escoamento no sentido oposto fazendo complexamente com que os débitos desses elementos hidráulicos que contribuem para esse troço, sejam “levados” também nessa nova abordagem, alterando outros trajectos já pré-implementados.

Veja-se então de forma mais pormenorizada uma descrição deste programa.

##### 4.6.2.1. Descrição

###### TRATAMENTO DE INFORMAÇÃO

Numa primeira fase foi imprescindível uma correcta exportação dos dados do AutoCAD e uma importação para o Excel, tal como é transmitido no Capítulo 5.2. Seguidamente é necessário executar a Macro.

No que diz respeito à Macro em si, a primeira atitude do programa é organizar toda a informação, nomeadamente fazer com que a informação seja dividida em duas folhas do Excel (“Pontos” e “Linhas”).

###### CONSTANTES PARA CÁLCULOS POSTERIORES

Depois de ser tratada a informação também nestas folhas, no que diz respeito à homogeneização e reconhecimento dos valores obtidos pela exportação (uma vez que há alguns conflitos a resolver pelo facto de a exportação do AutoCAD e a importação do Excel não serem concordantes), são pedidos alguns valores de constantes: nível de conforto, velocidades mínima e máxima e coeficientes de rugosidade e de viscosidade.

O programa em si incorpora uma base de dados relativamente simples sobre alguns tipos de condutas/tubagens, que se resumem ao diâmetro nominal e interior, à espessura e ao preço por metro. Esta base de dados pode ser incrementada desde que o utilizador o deseje com fácil alteração no código de programação. De forma demonstrativa trabalhar-se-á com os tipos de tubagem em CU<sup>11</sup> e em PP\_PN20<sup>12</sup>.

#### CRIAÇÃO DE MATRIZES-BASE

A criação de matrizes-base para os cálculos, resumem-se a cinco: Matriz Pontos Principais (MPP), Matriz Pontos Secundários (MPS), Matriz Pontos Gerais (MPG), Matriz Adjacências (MA) e Matriz Trajectos (MT).

Quanto à MPP deriva da exportação de dados provenientes do AutoCAD em que são simplesmente os pontos em que há caudais instantâneos preconizados pelos elementos hidráulicos patentes na planta de Arquitectura/Estruturas, que serve como base aos cálculos do trajecto optimizado. Esta matriz estará, para além de outras funcionalidades e utilidades, na base da criação da MPG.

Quanto à MPS esta deriva de uma matriz primariamente definida: a Matriz Linhas (ML). Esta ML é também simplesmente obtida através do tratamento de dados provindos da exportação do AutoCAD, ou seja, todas as linhas definidas em AutoCAD constarão desta matriz. Assim, a MPS é criada através da inclusão de todos os vértices das linhas, ou seja, considerando que uma linha, entendida neste caso como segmento de recta, tem dois vértices (um em cada uma das suas extremidades), a MPS incorpora todos estes vértices de todas as linhas, mas sem nunca repetir vértices outrora inseridos na matriz. Esta, estará também, na base da criação da MPG.

No que diz respeito à MPG é obtida à custa da MPP e da MPS, de forma a que na MPG conste todos os pontos da MPP (com os seus ID's, etc.) assim como todos os pontos da MPS, desde que diferentes da MPP. Assim, a MPG incorporará todos os vértices principais, e os secundários que forem diferentes dos principais.

Quanto à criação da MA requereu-se que fossem entendidas todas as possibilidades de interligação entre os pontos. A forma como se abordou a problemática foi relacionar os pontos da MPG entre si, de forma a que para cada vértice da MPG se tentasse igualar a um vértice de uma extremidade de uma linha (ou mais correctamente designado de segmento de recta), em que, caso isso acontecesse, se verificaria quais as coordenadas da outra extremidade dessa linha, fazendo a comparação com o vértice da MPG que tivesse essas coordenadas descobrindo assim qual o vértice adjacente ao vértice estudado.

A MT é uma matriz volátil, ou seja, ao contrário das matrizes anteriores, esta será alvo de alterações ao longo do processo de cálculo. Esta matriz incorpora em si o dobro das linhas exportadas do AutoCAD. A razão de ser o dobro das linhas deve-se ao facto da possibilidade de reversibilidade do escoamento, que se explicará mais à frente. Só desta forma se pode verificar que, estando a ponderar a implementação de um caudal do trajecto de A - B, se B - A tiver já em si caudal implementado não é

---

<sup>11</sup> Cobre

<sup>12</sup> Polipropileno da classe PN20 (pressão nominal = 20 bar)

possível haver caudal numa mesma tubagem em dois sentidos simultaneamente, pelo que se entrará no cálculo da “Reversibilidade do Escoamento”.

Numa primeira fase, esta matriz terá todos os dados referentes aos trajectos até então conhecidos, e será esta a matriz-base de todos os cálculos, ou seja, será esta a matriz que no final terá todos os valores e especificações de cada condução (diâmetros, velocidades, perdas de carga, vértices das extremidades e suas coordenadas, seu comprimento, caudais acumulados a passar em cada troço, assim como o caudal de cálculo, preço por metro e preço total dessa tubagem...)

## INÍCIO DO PROCESSO ITERATIVO

### PERCEPÇÃO E IDEALIZAÇÃO DOS CAMINHOS A ESTUDAR

É aqui que começa o processo iterativo, uma vez que implementado um determinado caminho é necessário criar outro, e para tal é necessário conhecer as novas ligações que a origem tem para com os pontos principais, pois (como veremos mais à frente) esse ponto principal implementado deixará de contar para o critério de paragem de descoberta de outros pontos principais de ligação à origem.

Chega o momento em que é necessário fazer o estudo dos caminhos possíveis. Para tal é imperativo ponderar todos os caminhos possíveis que ligam a origem aos pontos principais; e só aos pontos principais, pois só estes têm a obrigatoriedade de serem pontos de passagem do traçado. Enquanto os pontos secundários não são todos eles obrigados a pertencerem ao traçado final, isso já não acontece com os principais, uma vez que é obviamente uma premissa imposta, a de criar um traçado que faça a ligação entre todos esses pontos principais, ou denominados por elementos hidráulicos, e a origem.

Dessa forma há que calcular os caminhos possíveis desde a origem até aos pontos de passagem obrigatória (pontos principais). Para tal é necessário que, de acordo com a Teoria de Grafos, se comece num pivot (neste caso será sempre a origem) e se vá delineando caminhos em árvore até se encontrar um determinado critério de paragem. Os critérios de paragem são então os pontos repetidos na abordagem desse trajecto, ou seja, se tornar a encontrar um ponto que já foi estudado anteriormente o que levaria a um ciclo indeterminado, e por outro lado se encontrar um ponto principal que não foi ainda instalado no sistema. Este facto prende-se com a seguinte preocupação: um determinado trajecto iniciado num ponto principal a caminho da origem (de jusante para montante), ao encontrar um outro ponto principal no seu caminho que não esteja pré-implementado no sistema de abastecimento, significa que esse trajecto ao encontrar outro ponto principal susceptível de implementação, não é económico, pois se os primeiros estão mais distantes da origem do que os segundos, estes últimos terão menor distância, menos caudal, e logo menor custo. Agora, caso esse ponto estivesse já incluído no sistema, é óbvio que esse ponto não poderia contar para o critério de paragem, uma vez que só dessa forma é possível que pontos mais longe da origem possam entrar para a implementação do trajecto. Nunca é demais lembrar que um dos objectivos principais é criar os troços começando pelos mais económicos. Por tal esta filosofia na abordagem dos caminhos possíveis.

Desta forma, o Vector Pontos Principais (VPP) é criado para que na abordagem dos caminhos apenas sejam considerados esses pontos principais (p.p.), e apenas esses, que estão associados a esse vector.

Posteriormente a conhecidos os pontos que se ligam directamente com a origem pela matriz VPP, é fundamental conhecer os caminhos que esses pontos referidos têm de encontro com a origem. É óbvio

reconhecer, que se tratando de uma malha fechada, há a possibilidade de vários trajectos que unem dois pontos. Assim, todas essas possibilidades de caminhos serão incluídas numa matriz tridimensional Matriz\_3D (M3D), em que essa matriz tem para cada folha o número do Ponto Principal escolhido; para cada coluna de cada folha um determinado trajecto que esse ponto principal tem até à origem; e para cada linha de cada coluna (trajecto) e de cada folha (nº de p.p.) um dado troço (ou segmento de recta) desse trajecto. Resumindo, as 3 dimensões dessa matriz são: (ID troço, ID trajecto, ID nº p.p.).

#### ESTUDO DO CAMINHO MAIS ECONÓMICO POR INTERMÉDIO DO CÁLCULO HIDRÁULICO

Nesta fase é indispensável conhecer se um determinado trajecto é o mais económico. Para tal é necessário fazer cópia de duas matrizes fundamentais, pois serão estas que vão ser alteradas para se poder proceder a cálculos e para no futuro se poder perceber se realmente é ou não o caminho mais económico. Assim, a matriz MPG será clonada para MPG\_temp e a MT para MT\_temp.

#### INICIO DO PROCESSO ITERATIVO TEMPORÁRIO

Este cálculo temporário, com base nas matrizes temporárias que serão clonadas da original sempre que regresse ao início desde último processo iterativo “temporário”, será efectuado num primeiro estágio para cada ponto principal constante do VPP; num segundo estágio para cada trajecto possível; e num terceiro estágio para cada troço do trajecto e ponto principal analisado. Indique-se, tal como indica o fluxograma 4 em 4.5.2., que são ciclos dentro de ciclos em diferentes estádios.

Assim, para um dado troço (mais pequena porção de estudo) em que se verifica a sua implantação ou não, é necessário fazer uma série de abordagens. A primeira é se esse troço está a ir numa direcção em que na direcção oposta desse mesmo troço já há escoamento. Neste caso estamos perante um caso de “Reversibilidade do Escoamento”.

#### A REVERSIBILIDADE DO ESCOAMENTO

Quando assim acontece, várias alterações são sofridas por este facto. Desde logo é necessário compreender quais os pontos que serão afectados por esta situação. Não serão apenas os pontos por onde este troço passa mas sim todos os pontos que, poder-se-á dizer, “debitam” para este troço que terá o escoamento em sentido inverso. Assim, graças à gravação constante na MT dos p.p.´s que interferem nesse trajecto, é possível conhecer quais os troços que serão alterados por anulação de um trajecto em detrimento do seu inverso. Assim, esse trajecto que será anulado, dá a informação de quais os pontos que terão um escoamento diferente (ou seja, que terão um trajecto diferente até à origem), de forma a que esses pontos sejam guiados com a condicionante do novo traçado. Este cálculo complexo (ver Anexo 10.4.1.), irá criar uma Matriz Apagar\_Extra (MApE) que será a matriz que caso seja esse trajecto temporário o mais económico, irá ser apagado na forma definitiva conjuntamente com a implantação do Vector do trajecto analisado; e uma Matriz Acrescentar\_Extra (MAcE) que será a matriz a implementar por via dos novos traçados idealizados.

Então, a MApE será a matriz que vai apagar os traçados (desde um determinado p.p. até à origem) que estão a ser afectados pela inversão de escoamento desse troço, e a MAcE a matriz dos novos trajectos idealizados por essa mesma situação, já que ao apagar um determinado traçado patente na MApE terá de ser criado um novo na MAcE.

Este novo MAcE é complexo de descrever. Porém, de forma sucinta, refira-se o modo que foi encontrado para dar resposta a esta preocupação: num dado trajecto implantado de um p.p. foi-se desde o final regressando até ao início, até se encontrar o troço a ser mudado. Aí, foi-se recuando de novo até o trajecto não ser coincidente. Nessa altura, e a partir desse troço, é que será coincidente o trajecto apagado e o novo trajecto a implantar. Assim a MApE terá todo o traçado que tem como p.p. incluído no troço de escoamento reversível, e a MAcE terá o traçado desde o início até ao ponto de paragem, e o resto do trajecto até origem conjuntamente com o trajecto que está a ser estudado a sua implantação.

Veja-se o seguinte exemplo com a explicação detalhada mais abaixo:

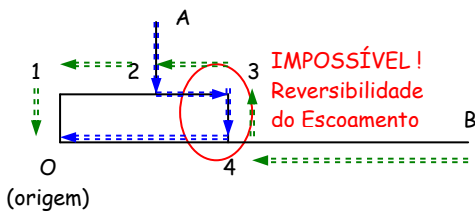


Fig. 4 – Exemplo: dois sentidos na mesma tubagem

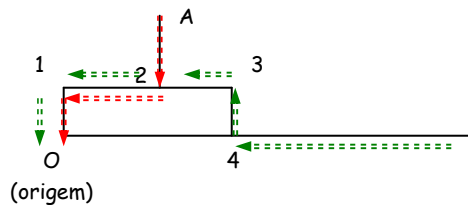


Fig. 5 – Exemplo de resolução

Trajecto já implementado: A-2-3-4-O

Trajecto a ser estudado: B-4-3-2-1-O

(letras = pontos principais, números = pontos secundários)

Quando se chega ao estudo do trajecto 4-3 provindo do p.p. “B”, para implementar caudais e demais informação que vem de montante, deparamo-nos com o facto de que de 3-4 há já caudal. Aí estamos perante um escoamento que terá de ser reformulado. Assim, no trajecto 3-4 estará a informação de que o p.p. “A” (e só este) estará a contribuir para esse escoamento. Assim é necessário retirar esse trajecto. Recuaremos desde o final até ao início desse p.p. “A” até que se encontre o troço a alterar: 4-O; 3-4!!! **Ok.** Agora recuaremos até ser diferente do inverso do trajecto a implementar: 2-3 (há 3-2 no trajecto B-O? Sim); **A-2** (há 2-A no trajecto B-O? **Não!!!**) Então para a MApE serão os troços (A-2; 2-3; 3-4; 4-O, ou seja todo o trajecto) e a MAcE será A-2 (por não haver no trajecto B-...-O um inverso), e a continuação deste até à origem, ou seja, 2-1 e 1-O.

MApE [A-2-3-4-O]; MAcE [A-2-1-O]

Após o estudo da “Reversibilidade do Escoamento”, continua-se com o cálculo do traçado, que, de forma temporária, implementa os sucessivos troços calculando os caudais acumulados, os caudais de cálculo mediante o nível de conforto escolhido e os diâmetros teóricos para a velocidade máxima. Mediante o tipo de conduta escolhido, implementa o diâmetro interior imediatamente superior ao teórico, para que a velocidade máxima não seja excedida, assim como importa o valor do diâmetro nominal e preço por metro. Calcula também a velocidade real do escoamento, e calcula o preço desse troço multiplicando o preço por metro com o comprimento do mesmo. Grava o valor do preço do trajecto até esse momento e compara-o com valores anteriores dos trajectos já estudados. Se esse valor

for excedido em anteriores iterações de outros trajectos, esse trajecto é rejeitado sem que se chegue ao fim do cálculo. Em caso negativo, prossegue os cálculos, nomeadamente calculando as perdas de carga até que chegado ao fim do trajecto verifica novamente se é o trajecto mais económico. Se assim o for, memoriza as matrizes que servirão de base para uma implementação definitiva e passa para o seguinte trajecto a estudar.

No final do estudo de todos os trajectos e de todos os p.p.'s verifica-se qual o trajecto de um dado p.p. que foi o mais económico, denominado doravante por Vector Normal\_mais\_ económico (VNme), e passa-se à fase de implementação desse trajecto.

#### FIM DO PROCESSO ITERATIVO TEMPORÁRIO

#### INÍCIO DA IMPLEMENTAÇÃO DEFINITIVA

Conhecido os valores das MAPe e MAcE, caso existam, e do VNme, passa-se à implementação destes trajectos, com base nos cálculos hidráulicos anteriormente referenciados.

No fim da implementação destas matrizes e vectores, retorna-se ao ponto da “Percepção e Idealização dos Caminhos a Estudar” uma vez que o p.p. implementado deixará de fazer parte do critério de paragem da descoberta dos p.p.'s que estão ligados directamente com a origem, a não ser que todos os p.p.'s já tenham sido implementados, o que faz finalizar o programa.

#### FIM DA IMPLEMENTAÇÃO DEFINITIVA

#### FIM DO PROCESSO ITERATIVO

### **4.7. JUSTIFICAÇÃO DOS MÉTODOS**

Os métodos propostos espelhados nos PRP1 e PRP2, tiveram esta abordagem por vários motivos. Um dos quais a simplicidade deste tipo de ferramentas.

O Excel é uma ferramenta largamente divulgada e de acesso generalizado, o que confere uma facilidade acrescida no uso do mesmo, uma vez que não é necessária a compra de qualquer *software* específico. Além disso, com a premissa de fazer a integração de um programa de DAC com o programa de cálculo, tornou-se evidente a facilidade do Excel em perceber os valores obtidos pela exportação, mesmo que com a necessidade de algumas alterações e de algumas compatibilizações. Além de todas estas benesses, a relativa facilidade na linguagem de programação VBA foi também um ponto positivo para que estes programas tenham tido o VBA na base da sua programação. Obviamente outros problemas intrínsecos a esta linguagem se levantaram, mas que serão discutidos tanto na Conclusão da Aplicação do Método (Capítulo 5.7.) assim como nas Conclusões Gerais (Capítulo 8.).

Conceptualmente, as justificações no uso de tais abordagens algorítmicas prenderam-se todo o tempo com o tipo de problemática com que nos deparávamos. A certo momento da programação, por muito bem esquematizado e algoritmicamente percebida a problemática que estivesse, haveria sempre algum passo que fazia com que algo anteriormente idealizado sofresse uma ou outra alteração. Foi esta constante sofisticação e aumento de complexidade que incrementou ao programa mais valias.

De certo, algumas das justificações mais particulares dos métodos, estão inseridas na descrição do próprio método explicado no Capítulo 4.6.

#### **4.8. CONCLUSÃO**

Como forma de conclusão acerca do método proposto, pode-se dizer que estes dois PRP's foram concebidos para dar resposta às necessidades de optimização a que foram predispostos de forma relativamente simples em termos de concepção, mas um pouco mais complexa em termos de programação.

Diga-se também que foi uma forma capaz de dar resposta à necessidade de interacção do programa de DAC com o próprio programa de cálculo. A nível da programação em VBA foi um desafio o estudo desta nova linguagem de programação, assim como os métodos de algoritmia, de Teoria de Grafos e Teoria de Decisão que estiveram subjacentes aos programas, uma vez que muita desse concepção não pôde ser assimilada pelo estudo da mais diversa bibliografia, mas sim pela constante resolução inovadora de problemas não constantes nessa mesma bibliografia, como por exemplo, o facto de tratamento dos dados, a sua iteração entre as diversas matrizes, a forma de guardar os dados, a forma de como percorrer caminhos cuja obrigação de passar por uns pontos não era extensível a outros, etc...

Quanto ao PRP1 em si, é um programa mais simples, o qual tem uma funcionalidade muito específica que é o calcular de forma o mais optimizada possível um traçado já preconcebido, no qual possibilita ainda a optimização de perdas de carga no seu final. Este programa é de uso bastante simples e num ambiente largamente difundido como é o Excel, o que lhe confere uma utilidade acrescida. Além do mais integra custos, o que é um facto diferenciador de vários programas informáticos disponíveis no mercado.

Quanto ao PRP2 é um programa deveras mais complexo. Não só em termos conceptuais, mas também a nível de programação. Achou-se conveniente para uma maior celeridade dos cálculos utilizar matrizes de cálculo e não as diversas folhas do Excel. Para além disso, e por ser uma malha fechada, a grande dificuldade na abordagem da reversibilidade de caudais, aumentou a complexidade do programa já por si só extenso. A Teoria de Grafos e Teoria de Decisão por detrás do entendimento dos caminhos possíveis, assim como a implementação dos demais critérios de paragem para reduzir tempos de cálculo, foram de concepção um pouco difíceis, mas verificaram-se eficazes.

Assim, para além dos objectivos de simplicidade, de interacção com a ferramenta de DAC, e dos demais objectivos do traçado optimizado de uma malha fechada, pensa-se estar perante uma ferramenta útil que não descora o próprio cerne da questão: a optimização dos custos inerentes ao traçado simplificado.

Porém, para além deste nível de optimização, outro mais profundo se poderia atingir.

Ao longo da idealização da optimização da escolha do trajecto mais económico, surgiu a ideia de uma optimização ainda mais eficaz se se acrescentasse uma iteração complementar e intermédia após a implementação de um dado trajecto. Desta forma, verificar-se-iam se alguns dos p.p.'s já implantados com ligação à origem teriam ou não, afinal, e devido a esta última implementação, um trajecto mais económico. Porém, por dificuldades várias entre as quais a falta de capacidade de memória da Macro em Excel que só permite um determinado número de linhas, para além da dificuldade de programar mais um grande ciclo (que teria sensivelmente o mesmo número de linhas de código já existentes, elevando assim para o dobro o número de linhas do programa) dentro do ciclo geral, tal não foi possível implementar no programa, o que traria uma enorme mais valia ao mesmo. Pode-se então conjecturar sobre a mais-valia desta inclusão, tal como disposto nos [Capítulos 5.6.2.2. e 5.6.2.3.](#) assim como nas Propostas de Melhoria ([Capítulo 8.1.](#)).

Estes PRP's encerram então em si a capacidade de dar resposta às solicitações a que foram propostos.

# 5

## APLICAÇÃO DOS PRP'S PELO MÉTODO PROPOSTO

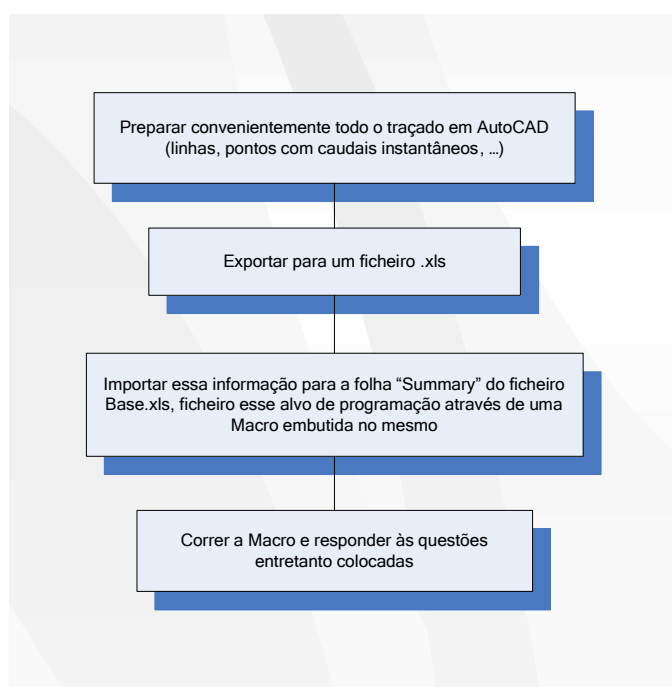
### 5.1. INTRODUÇÃO

A aplicação deste Método de Resolução Proposto têm grande abrangência, uma vez que se pode fazer a aplicação do método alterando alguns valores nas Bases de Cálculo para poder comprovar algumas potencialidades (ou debilidades) dos PRP's.

Quanto à aplicação do método aos PRP's, os programas terão de ser intuitivos, *standardizados*, e de grande versatilidade. Além disso há a grande vantagem de não ser necessário nenhum outro programa comercial além dos largamente difundidos nos gabinetes de Projectistas como o AutoCAD e o Excel.

### 5.2. ENCADEAMENTO DE TAREFAS E PROCEDIMENTOS DE UTILIZAÇÃO

Relativamente ao encadeamento de tarefas que o utilizador tem de seguir veja-se o seguinte fluxograma simplificado:



Fluxograma 6 – Encadeamento de Tarefas

No entanto há que especificar tais tarefas com base em procedimentos uniformizados que os próprios utilizadores têm de ter bem presentes para que o encadeamento funcione e seja *standard*. Assim, passa-se à explicação.

### 5.2.1. UNIFORMIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS EM AUTOCAD NA CRIAÇÃO DAS BASES DE CÁLCULO

É importante seguir algumas regras:

- ✓ É de uso aconselhável colocar a origem das coordenadas no ponto mais inferior e mais esquerdo para que não haja coordenadas negativas. Não é um problema mas torna-se apenas mais claro. Verifique-se ainda se a planta se encontra com a escala unitária.

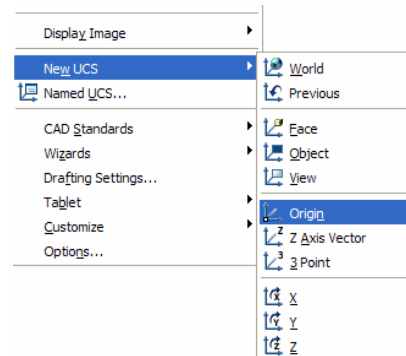


Fig. 6 – Definição de nova origem

- ✓ A implantação de linhas é normal, ou seja, idealmente até poder-se-iam aproveitar as linhas provenientes do projecto de Estruturas/Arquitectura em que apenas se apagasse tudo o que não interessava deixando somente as linhas passíveis da passagem das condutas, com a preocupação de sempre que esta fosse interrompida por um elemento hidráulico, finalizar a linha e criar uma nova a partir desse ponto.
- ✓ No seguimento com o referido anteriormente, os pontos hidráulicos terão de ser colocados no vértice final ou inicial de uma linha e nunca a meio desta. Se por ventura quisermos colocar um ponto a meio de uma linha existente é necessário que se corte a linha em duas partes. Ainda referente à implementação dos pontos representativos dos elementos hidráulicos é necessário que para cada um deles seja implementada o débito correspondente em l/s, ou mais correctamente denominado como caudais instantâneos mínimos, no parâmetro referente ao “*Linetype Scale*”. (Alguma dificuldade ir a *Modify / Properties*).

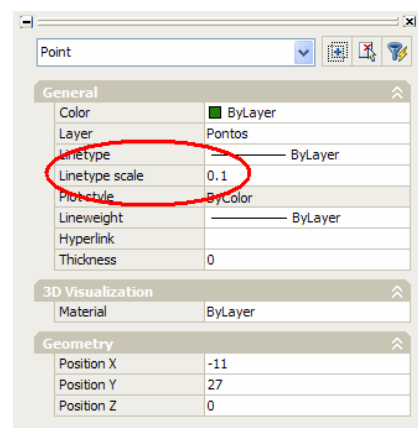


Fig. 7 – Alteração do caudal instantâneo na “*Linetype scale*”

- ✓ Após efectuar-se estes procedimentos torna-se importante colocar também um ponto no início de toda a rede de abastecimento de água como sendo o primeiro ponto em que a água passará ou também denominado como origem do sistema de abastecimento de água. A este ponto deve-se atribuir um valor de 0 l/s (zero).

### 5.2.2. EXPORTAÇÃO DOS DADOS DO AUTOCAD PARA FICHEIRO .XLS

✓ Neste momento está-se em condições de proceder à exportação de dados. Assim sendo deve-se ir a *Tools / Data Extraction...* E seguir os seguintes passos:

- 1º - “Create a new Data extraction” » *NEXT* e escrever um nome para gravar a extracção e continuar.

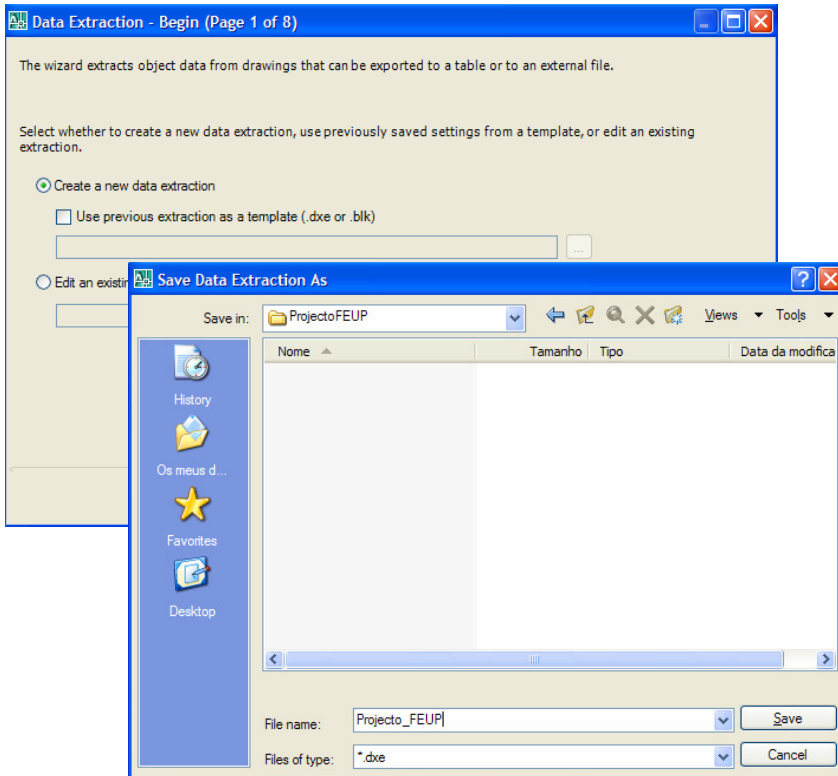


Fig. 9 – Exportação: 1º passo

- 2º - “Select objects in the current drawing” e clicar no botão à frente para proceder à selecção de todas as linhas e pontos a extrair. » *NEXT*

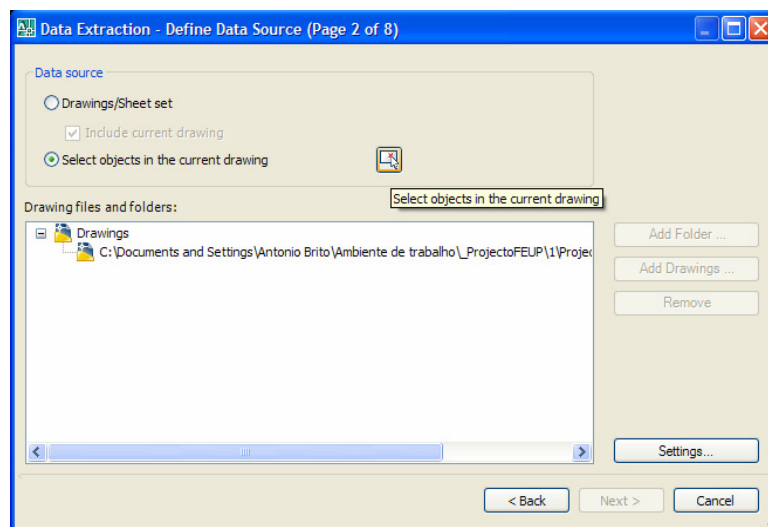


Fig. 10 – Exportação: 2º passo

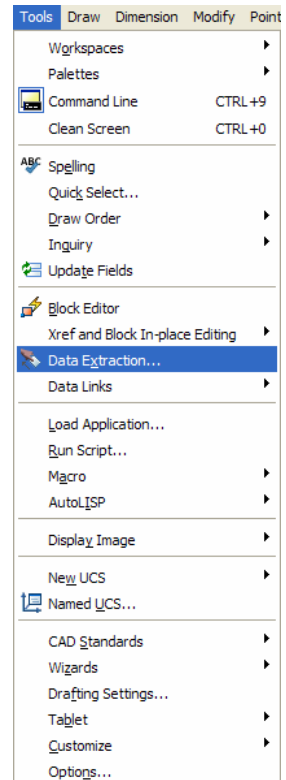


Fig. 8 – Exportar dados

- 3º - Deixar apenas seleccionado “Lines” e “Points” » NEXT

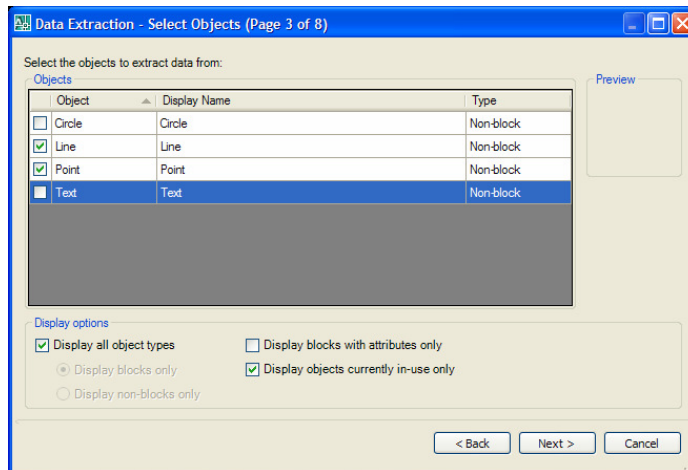


Fig. 11 – Exportação: 3º passo

- 4º - Seleccionar todos os itens a exportar (Clique o botão direito do rato e seleccione *Check All*) » NEXT

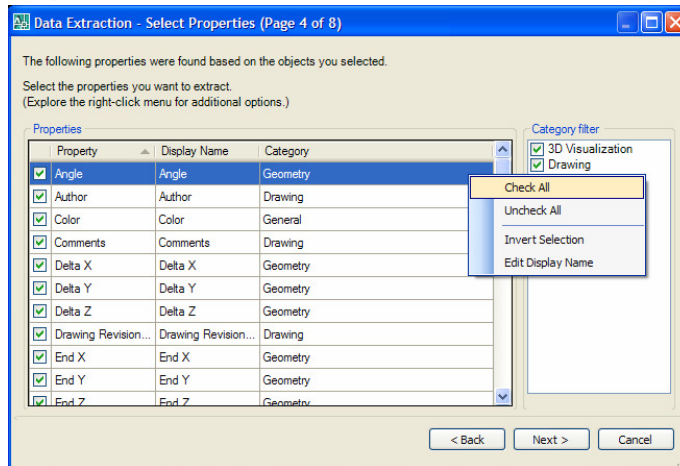


Fig. 12 – Exportação: 4º passo

- 5º - Apenas clique em NEXT

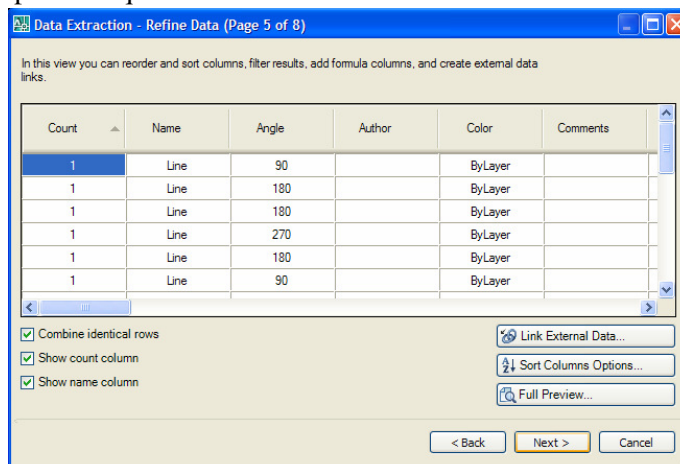


Fig. 13 – Exportação: 5º passo

- 6º - Clicar em “*Output data to external file*” e seleccionar onde queremos guardar o ficheiro Excel com os dados exportados. Não esquecer de colocar a terminação do ficheiro \*.xls

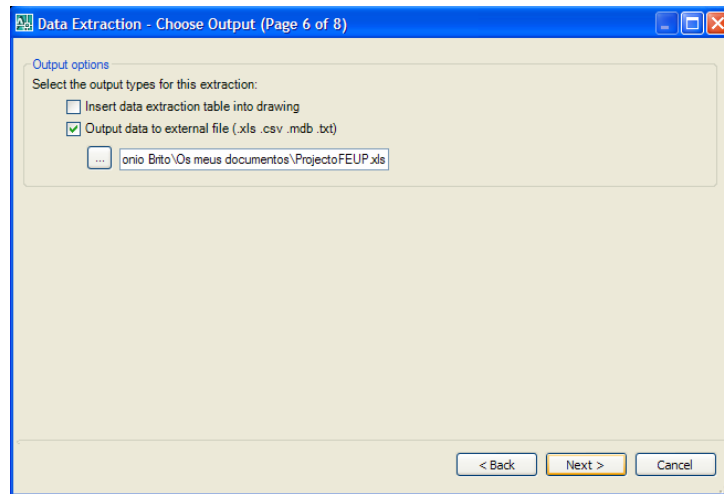


Fig. 14 –Exportação: 6º passo

- 7º - Terminado. Clicar em *FINISH* para finalizar a exportação

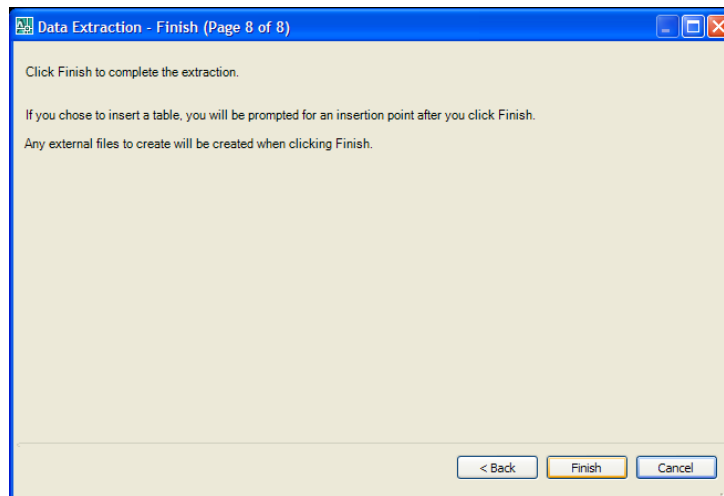


Fig. 15 – Exportação: 7º passo: FIM

### 5.2.3. IMPORTAÇÃO DOS DADOS PARA EXCEL

Com o ficheiro .xls criado através da exportação do AutoCAD é necessário copiar a sua informação para o ficheiro Base em Excel que tem em si incluído o macro para a execução do programa. Para tal é necessário abrir o ficheiro que foi exportado e na sua única página “Summary” seleccionar todas as células e fazer um simples “Copy/Paste” para a mesma página do ficheiro Base.

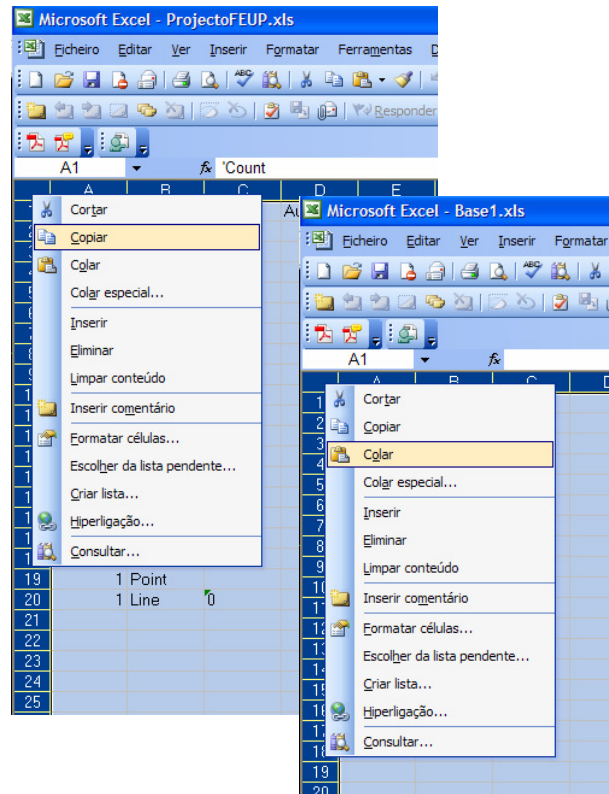


Fig. 16 – Importação de dados para o Excel

Qualquer alteração que se queira fazer antes de correr a Macro é possível, como por exemplo a alteração dos caudais instantâneos dos elementos hidráulicos, bastando para tal seleccionar a célula em questão e alterar o respectivo valor.

Agora, estamos prontos a correr a macro e obter valores.

### 5.2.4. EXECUTAR A MACRO

Por forma a executar a Macro há duas opções: ou se carrega em Shift+Ctrl+M (atalho convencionado), ou então selecciona-se “Macro / Macros...” e faz-se “Run” da macro seleccionada.

Apenas de salientar que para a execução do ficheiro do PRP1 é necessário ter o suplemento do “Solver” activo nas definições do Excel.

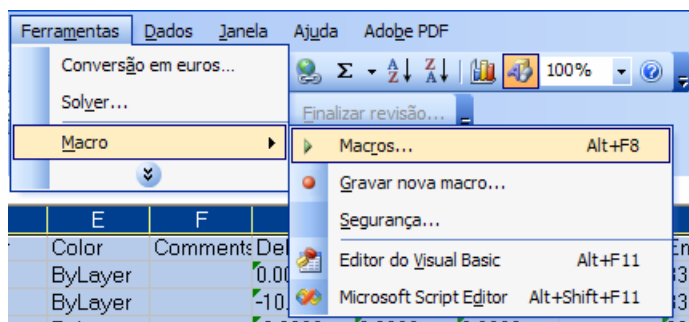


Fig. 17 – Executar a Macro

### 5.3. ESPECIFICIDADES DOS PRP'S

Como anteriormente explicado, os PRP's poderão ser aplicados de forma fácil e intuitiva. Há então a necessidade de proceder à aplicação do método passo a passo tal como é descrito no Capítulo 5.2.

No entanto, para cada um dos PRP's há a possibilidade de introduzir algumas especificidades que para além de tornarem único cada processo de cálculo, proporcionarão também, no caso do programa 2, uma maior validação do próprio método, uma vez que diferenciando simplesmente os valores do *input* apenas no que diz respeito aos caudais instantâneos dos p.p.'s e ao preço das condutas, criarão trajectos diferentes já que estas variáveis conjugar-se-ão no cálculo otimizado do custo mínimo.

#### 5.3.1. PROGRAMA 1

O programa 1 derivou de uma solução de malha aberta, tal como mostra o Capítulo 3.3.1.

Os valores dos *inputs*, serão os dados pelas Tabelas 1 e 2 desse mesmo capítulo. Apenas serão introduzidos diferentes valores de velocidade máxima para se perceber em que medida é que esta imposição faz alterar os valores e o preço total do sistema de abastecimento de água.

Outra especificidade será constatar até que ponto uma optimização das pressões é válida nomeadamente pelo aumento do preço do sistema de abastecimento de água, uma vez que os diâmetros vão sendo cada vez maiores.

Assim, teremos as diferentes situações:

- 1.1 a) Situação normal.
- 1.1 b) Velocidade máxima = 1.5 m/s.
- 1.2 b) Pressão e custo em constante optimização na redução das pressões.

#### 5.3.2. PROGRAMA 2

O programa 2 derivou de uma solução de malha fechada, tal como mostra o Capítulo 3.3.2.

No que toca a este programa decidiu-se aplicar o método fazendo algumas variações, nomeadamente no que diz respeito a alterar os caudais instantâneos dos p.p.'s e o preço por metro de cada conduta, uma vez que obviamente implicaria traçados diferentes.

Para verificar estas particularidades, criaram-se as seguintes situações:

- 2.1 a) Situação normal.
- 2.1 b) Situação com caudais instantâneos muito baixos o que representa um paralelismo com a escolha do caminho mais curto (não entra em jogo o custo).
- 2.1 c) Situação em que se impõe preferível o aumento de comprimento de tubagem (maior número de metros de tubagem) ao aumento do diâmetro da mesma criando uma grande diferença entre o preço por metro de dois diâmetros seguidos de uma determinada tubagem.

Estas diferentes situações visam representar e demonstrar nos resultados obtidos, a robustez da solução.



ii) Pontos

Tabela 7 – Pontos da Base de Cálculo para o PRP1

Count	Name	Linetype Scale	Position X	Position Y	Position Z
1	Point	0.15	830.5126	621.5598	0
2	Point	0.1	822.5126	626.5598	0
3	Point	0	833.5126	599.5598	0
4	Point	0.1	840.5126	626.5598	0
5	Point	0.25	815.5126	636.5598	0
6	Point	0.1	820.5126	641.5598	0

iii) Conduitas

Tabela 8 – Diâmetros do material PP\_PN10

Polipropileno GENERICO PN10			
Diâmetros [mm]			
Diam nom.	Espess.	Diam int.	Preco/m
32	3	26	2.3
40	3.7	32.6	3.55
50	4.6	40.8	5.69
63	5.8	51.4	8.26
75	6.9	61.2	11.88
90	8.2	73.6	16.89

Tabela 9 – Diâmetros do material PP\_PN20

Polipropileno GENERICO PN20			
Diâmetros [mm]			
Diam nom.	Espess.	Diam int.	Preco/m
16	2.7	10.6	0.91
20	3.4	13.2	1.16
25	4.2	16.6	1.76
32	5.4	21.2	2.89
40	6.7	26.6	4.74
50	8.4	33.2	7.38
63	10.5	42	11.61
75	12.5	50	16.72
90	15	60	24.27

Tabela 10 – Diâmetros do material PVCC\_PN16

PVCC GENÉRICO PN16			
Diâmetros [mm]			
Diam nom.	Espess.	Diam int.	Preco/m
32	0	32	8.54
40	0	40	13.11
50	0	50	20.19
63	0	63	26.25
75	0	75	45.17
90	0	90	60.64

Tabela 11 – Diâmetros do material PVCC\_PN25

PVCC GENÉRICO PN25			
Diâmetros [mm]			
Diam nom.	Espess.	Diam int.	Preco/m
16	0	16	3.21
20	0	20	4.71
25	0	25	6.45
32	0	32	10.25
40	0	40	15.34
50	0	50	23.77
63	0	63	41.72

iv) Valores introduzidos

Velocidade máxima: 1.8 m/s  
 Velocidade mínima: 0.6 m/s  
 Coef. rugosidade: 0.007 mm/mm  
 Coef. viscosidade: 0.00000101 m<sup>2</sup>/s  
 Conduita escolhida: PP\_PN20

Nota: pode-se ver no Anexo 10.1.1., a informação global resultante da exportação do AutoCAD

5.4.2. PROGRAMA 2

Consumo variado mediante cada teste ao programa

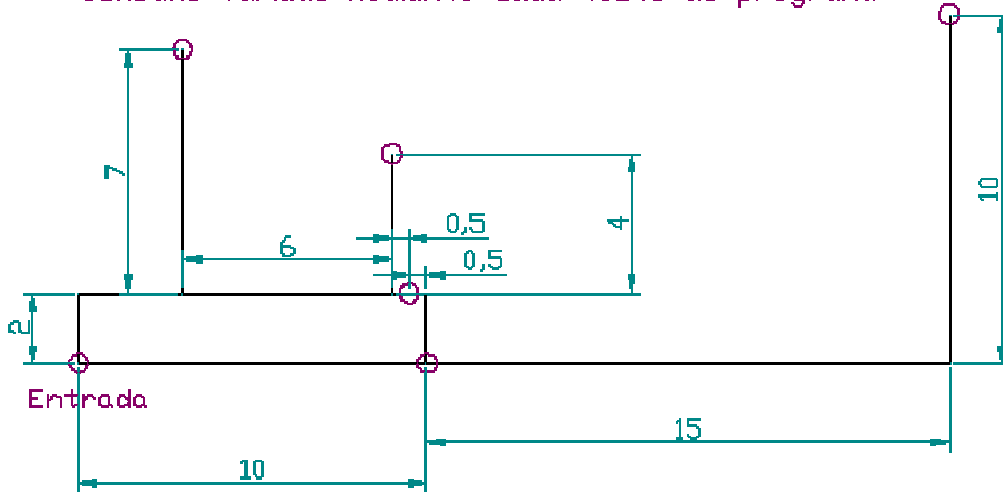


Fig. 19 – Base de Cálculo para o PRP2

Os dados deste cenário estão patentes nas seguintes tabelas:

i) Linhas

Tabela 12 – Linhas da Base de Cálculo para o PRP2

Count	Name	Angle	Delta X	Delta Y	Delta Z	End X	End Y	End Z	Length	Start X	Start Y	Start Z
1	Line	180	-3	0	0	2065.0592	1302.7068	0	3	2068.0592	1302.7068	0
2	Line	180	-6	0	0	2068.0592	1302.7068	0	6	2074.0592	1302.7068	0
3	Line	90	0	7	0	2068.0592	1309.7068	0	7	2068.0592	1302.7068	0
4	Line	270	0	-2	0	2065.0592	1300.7068	0	2	2065.0592	1302.7068	0
5	Line	90	0	2	0	2075.0592	1302.7068	0	2	2075.0592	1300.7068	0
6	Line	0	10	0	0	2075.0592	1300.7068	0	10	2065.0592	1300.7068	0
7	Line	180	-0.5	0	0	2074.0592	1302.7068	0	0.5	2074.5592	1302.7068	0
8	Line	180	-0.5	0	0	2074.5592	1302.7068	0	0.5	2075.0592	1302.7068	0
9	Line	90	0	4	0	2074.0592	1306.7068	0	4	2074.0592	1302.7068	0
10	Line	0	15	0	0	2090.0592	1300.7068	0	15	2075.0592	1300.7068	0
11	Line	90	0	10	0	2090.0592	1310.7068	0	10	2090.0592	1300.7068	0

ii) Pontos

Tabela 13 – Pontos da Base de Cálculo para o PRP2

Count	Name	Linetype Scale	Position X	Position Y	Position Z
1	Point	0	2065.0592	1300.7068	0
2	Point	0.1	2068.0592	1309.7068	0
3	Point	0.15	2074.5592	1302.7068	0
4	Point	0.17	2075.0592	1300.7068	0
5	Point	0.2	2074.0592	1306.7068	0
6	Point	0.25	2090.0592	1310.7068	0

Verifique-se que o consumo de cada elemento hidráulico é variado mediante o teste que se quer fazer ao PRP respectivo, pelo que no quadro acima é apenas demonstrativo o valor da coluna LineType Scale.

iii) Conduatas

Tabela 15 – Diâmetros do material CU

Cobre			
Diâmetros [mm]			
Diam nom.	Espess.	Diam int.	Preco/m
18	1	16	1.84
22	1	20	2.17
28	1	26	2.93
35	1	33	3.82
42	1	40	3.95

Tabela 14 – Diâmetros do material PP\_PN20

Polipropileno GENERICO PN20			
Diâmetros [mm]			
Diam nom.	Espess.	Diam int.	Preco/m
16	2.7	10.6	0.91
20	3.4	13.2	1.16
25	4.2	16.6	1.76
32	5.4	21.2	2.89
40	6.7	26.6	4.74
50	8.4	33.2	7.38
63	10.5	42	11.61
75	12.5	50	16.72
90	15	60	24.27

iv) Valores introduzidos

- Nível de conforto: Médio
- Velocidade máxima: 1.8 m/s
- Velocidade mínima: 0.6 m/s
- Coef. rugosidade: 0.007 mm/mm
- Coef. viscosidade: 0.00000101 m<sup>2</sup>/s
- Conduto escolhida: PP\_PN20

Nota: pode-se ver no Anexo 10.1.2., a informação global resultante da exportação do AutoCAD

5.5. PRP'S EM FUNCIONAMENTO

De forma a explicitar o *layout* na óptica do utilizador dos PRP's elaborados, achou-se conveniente introduzir esta exemplificação sobretudo por meio de imagens acompanhadas de breves explicações.

5.5.1. PROGRAMA 1

Numa primeira fase o programa espera pela introdução de algumas constantes que o utilizador terá de fornecer.

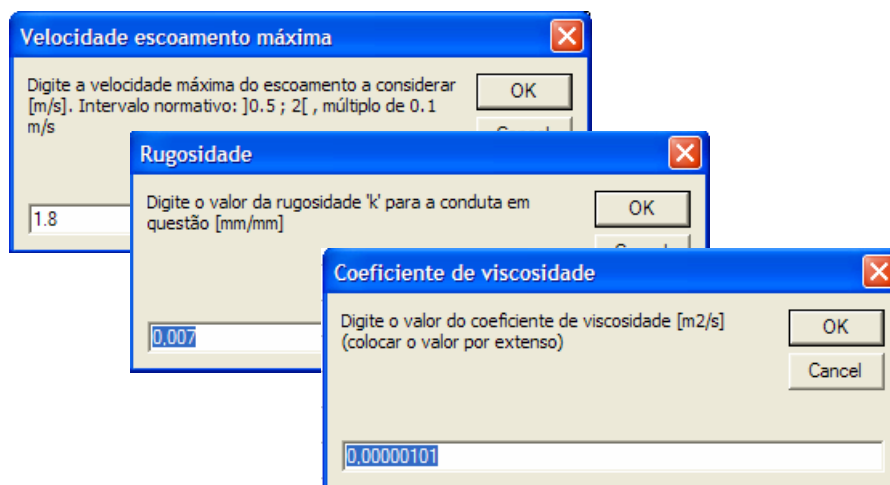


Fig. 20 – Introdução de constantes por parte do utilizador

Saliente-se porém a problemática dos “.” (pontos) e das “,” (vírgulas) como símbolo de separação entre a unidade e as casas decimais. O Excel faz alguma confusão neste âmbito. Não obstante a ir às definições e alterar este campo, aquando da introdução nas caixas de diálogo do valor respectivo, o próprio programa se confunde, pelo que para uma correcta utilização do mesmo se deve utilizar o ponto no valor da velocidade máxima e no coeficiente de rugosidade e a vírgula no coeficiente de viscosidade e na velocidade mínima. Refira-se que esta informação é útil para uma dada configuração do Excel. Dever-se-á então tomar especial atenção a este factor, se por ventura nos resultados algo aparecer estranho, ou se o programa encontrar um *bug* devido a este facto.

Posteriormente o programa efectua os cálculos para que está programado e pede que o utilizador indique qual o tipo de tubagens a implantar no sistema de abastecimento de água.

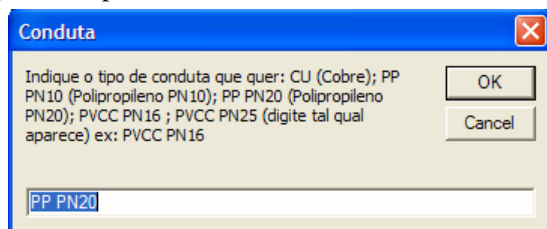


Fig. 21 – Indicar o tipo de tubagem a utilizar

Após esta informação, o programa calcula toda a informação referente às perdas de carga e aos custos até que informa o utilizador do custo total da instalação.

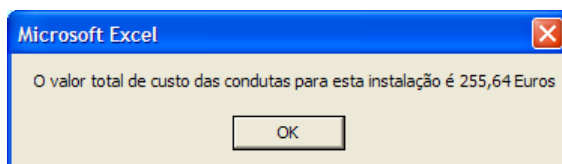


Fig. 22 – Informação sobre o custo total da instalação

Seguidamente pede que introduza o valor da velocidade mínima a fim de prosseguir, caso o utilizador assim o deseje, para a optimização das pressões.

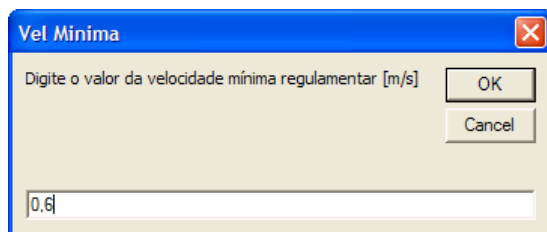


Fig. 23 – Indicar a velocidade mínima a considerar

Posteriormente indica a perda de carga a que se chegou e pede pergunta ao utilizador se deseja proceder à optimização.

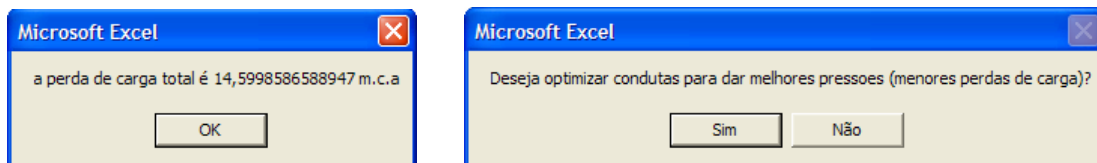


Fig. 24 – Indica a perda de carga a que chegou e se quer optimizar as pressões

Pede de seguida novamente a velocidade mínima (pois pode querer-se baixar um pouco mais este valor) e o programa recalcula a perda de carga total assim como volta a perguntar se deseja otimizar mais até que não seja possível uma maior diminuição das perdas de carga.

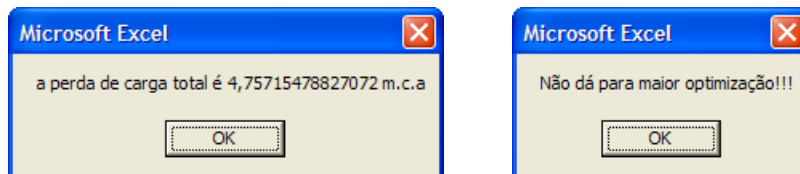


Fig. 25 – Indicação da perda de carga e da informação que culmina o processo de otimização

Chegados a esta fase o programa termina.

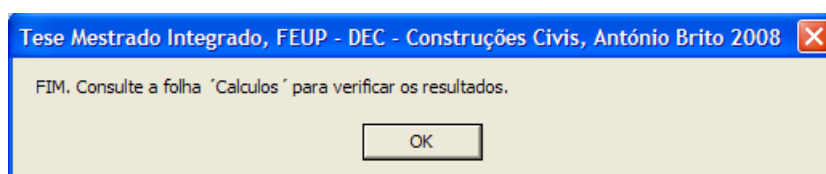


Fig. 26 – Indica a folha em Excel em que estão os resultados globais

### 5.5.2. PROGRAMA 2

A Macro deste programa teve de ser dividida em várias rotinas, uma vez que o seu todo excedia o limite de memória disponível. No entanto basta premir Ctrl+Shift+M ou então executar sempre a rotina “Projecto1” que ele ligar-se-á automaticamente às outras rotinas constantes na Macro.

Quanto ao programa em si, pedirá alguns valores de constantes, as quais o utilizador terá de facultar.

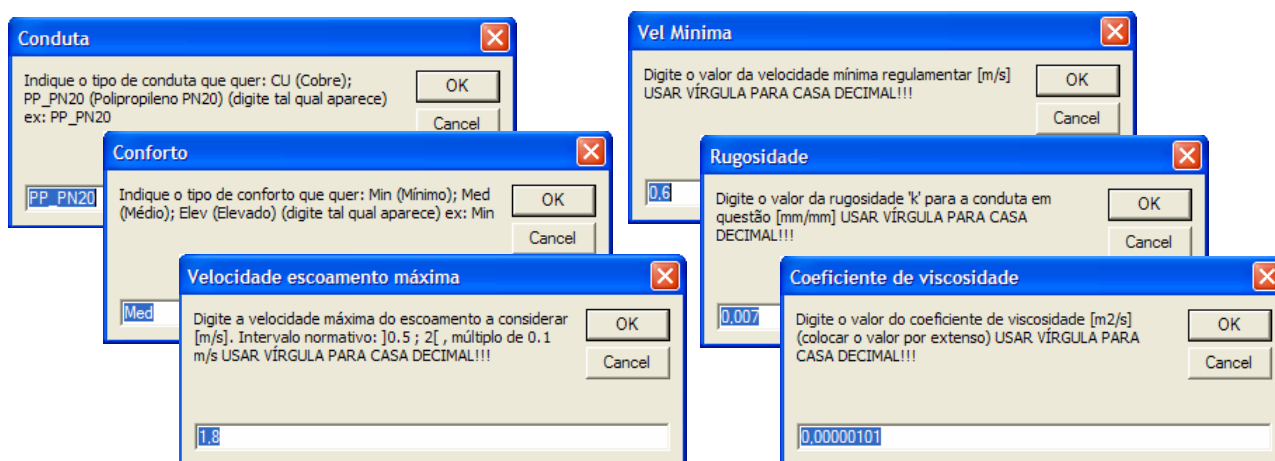


Fig. 27 – Introdução de constantes por parte do utilizador

Após a introdução destes valores, o programa procederá à averiguação das ligações dos pontos principais com ligação directa à origem. Para cada um deles apresenta uma caixa informativa indicando por quantos trajectos possíveis este se pode ligar até à origem.

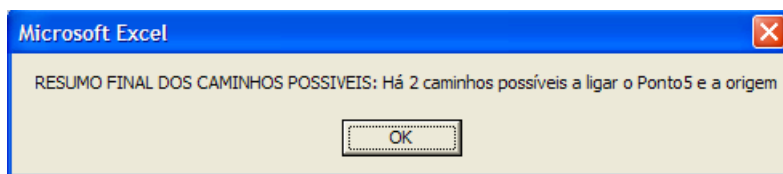


Fig. 28 – Indica quantos caminhos cada ponto principal tem de forma directa até à origem

Depois, para cada ligação à origem de um dado ponto principal, será apresentada uma caixa informativa indicando qual o valor do custo associado a esse trajecto.

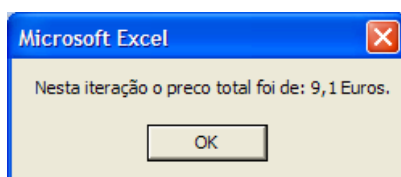


Fig. 29 – Indica o preço total desse trajecto

Ao longo do processo decisório de qual trajecto deverá ser implantado, será informado ao utilizador o momento em que um determinado trajecto é, até essa altura, o trajecto mais económico.

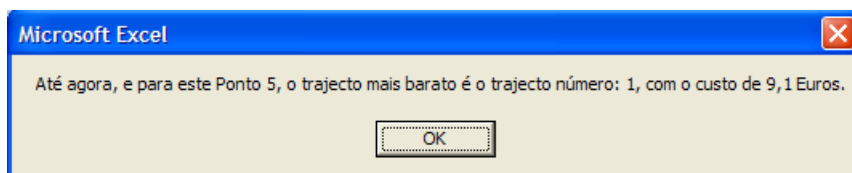


Fig. 30 – Indica que até então o valor mais económico pertence a um determinado trajecto

De seguida faz o mesmo para outros pontos principais de forma a achar o trajecto mais económico de entre todos os pontos principais.

Entretanto, há a possibilidade de haver a denominada “Reversibilidade do Escoamento”, pelo que o programa informa o utilizador de tal, mesmo que depois não se ache, através dessa abordagem, que esse trajecto seja o mais económico.

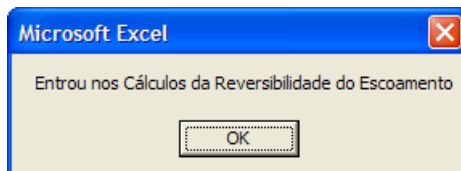


Fig. 31 – Vai proceder a cálculos referentes à “Reversibilidade do Escoamento”

No fim de todos estes cálculos, varrendo todos os pontos principais com ligação directa à origem, acha-se qual o ponto principal e qual dos seus caminhos possíveis que deverão ser implantados ao sistema:

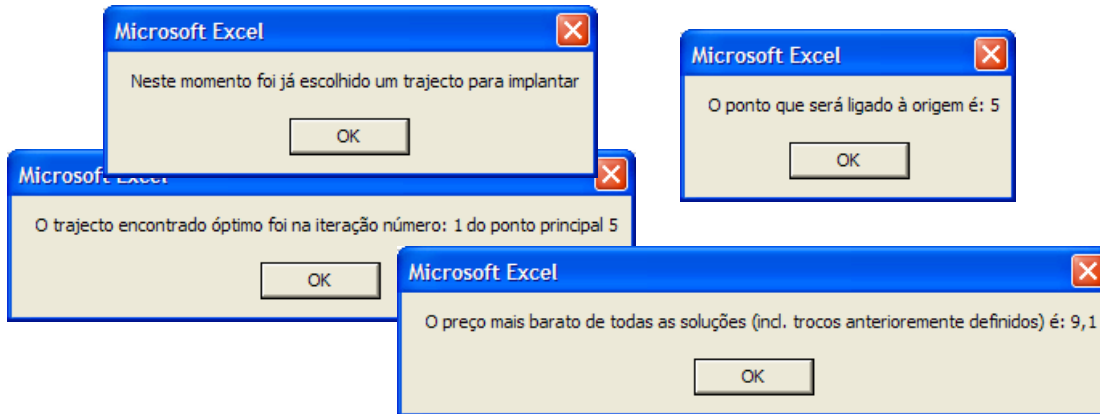


Fig. 32 – Informação global do trajecto a implementar

Entra-se agora na implementação definitiva do trajecto propriamente dito ao sistema de abastecimento de água.

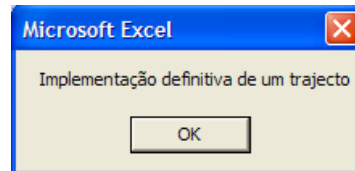


Fig. 33 – Informação de que vai ser iniciada a implementação definitiva

Nesta fase serão implementados os vectores que foram idealizados como mais económicos pela abordagem temporária. Assim, por via da “Reversibilidade do Escoamento”, e caso tenha contribuído para o caminho mais económico, serão retirados os vectores da matriz Apagar\_Extra (MApE) e implementados os vectores da matriz Acrescentar\_Extra (MAcE). Para além destes vectores é sempre obrigatório a implantação do Vector\_Normal\_mais\_económico (VNme).

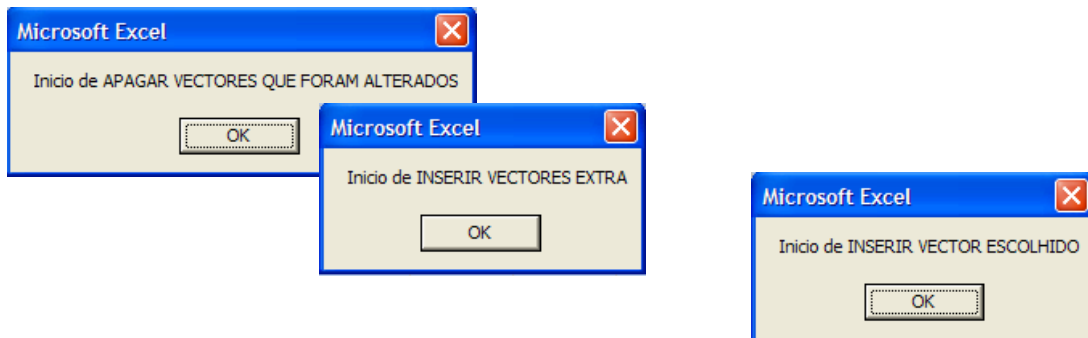


Fig. 34 – Vectores das matrizes a inserir (caso hajam)

Posteriormente à inclusão destes vectores, o processo retorna à abordagem dos caminhos que se ligam de forma directa com a origem, pelo que regressará de novo ao patamar referente à Fig. 28. Fim do este processo cíclico, ou seja tendo incluído todos os pontos principais ao sistema, o programa termina.

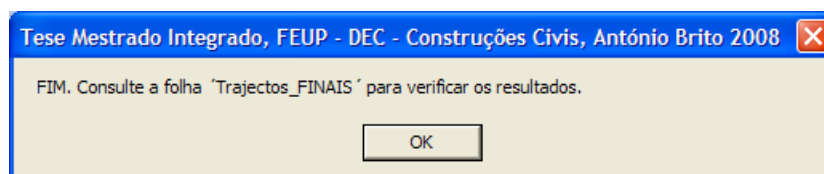


Fig. 35 – Indica a folha em Excel em que estão os resultados globais

## 5.6. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos reveste-se de grande importância, uma vez que é através dela que se podem validar muitas vezes os pressupostos inerentes aos programas de cálculo assim como validar a boa concepção dos mesmos.

Para cada programa e para cada situação referenciada no Capítulo 5.3., apresentar-se-ão os resultados obtidos e uma análise aos mesmos.

Por último, refira-se que todos os resultados mais em pormenor das situações abaixo descritas podem ser visualizados nos Anexos 10.2.

### 5.6.1. PROGRAMA 1

#### 5.6.1.1. Situação 1.a

Preço Total:	255.64
Maior perda de carga	14.5999

Pode-se verificar pelos resultados que o sistema de abastecimento de água para os pressupostos base em causa, apresenta uma perda de carga no ponto mais crítico de 14.60 m.c.a e um custo total de 255.64 Eur.

#### 5.6.1.2. Situação 1.b

*Alterações:*

*Velocidade máxima de 1.8 m/s para 1.5 m/s.*

Preço Total:	258.64
Maior perda de carga	14.5999

Através destes resultados obtidos e apoiados nos resultados extensos e mais detalhados descritos nos Anexos 10.2.1.2., se verificou que pelo facto de se baixar a velocidade máxima permitida, a tubagem designado por Line4 que outrora com os cálculos na situação 1.a tinha já uma velocidade real de 1.5081, fica então com um diâmetro superior uma vez que nesta situação 1.b, no máximo, apenas é permitida uma velocidade de 1.50 m/s.

Esta análise de resultados permite ainda uma constatação interessante. Se, em comparação com a situação 1.a, se aumentou um determinado diâmetro o que implicou um aumento de custo, porque motivo a máxima perda de carga não sofreu uma diminuição? Isto explica a consistência na abordagem das perdas de carga, uma vez que este aumento do diâmetro (em Line4) não se deu no caminho crítico.

5.6.1.3. Situação 1.c

Alterações:

Escolher a optimização de pressões até não se conseguir reduzir mais as perdas de carga do trajecto mais desfavorável.

Preço Total:	408.29
Maior perda de carga	4.7572

Formou-se um gráfico para se verificar a influência da redução das perdas de carga com o custo da instalação! Obviamente que está intimamente ligado com o preço por metro do material escolhido para abastecimento (o PP\_PN20 – que pode ser vislumbrado em [Capítulo 5.4.1. iii](#)) ) de cada diâmetro comercial.

Tabela 16 – Custo vs. Perdas de Carga

Perda de Carga do Sistema	Redução (%) da Perda de Carga	Custo	Aumento de Custo (%)
14.6	0	255.64	0
13.89	4.86	261.29	2.21
11.76	19.45	278.24	8.84
11.04	24.38	283.89	11.05
10.25	29.79	302.39	18.29
9.06	37.95	330.14	29.14
8.51	41.71	343.09	34.21
7.55	48.29	365.29	42.89
6.76	53.70	383.79	50.13
6.1	58.22	386.79	51.30
5.45	62.67	389.79	52.48
4.76	67.40	408.29	59.71

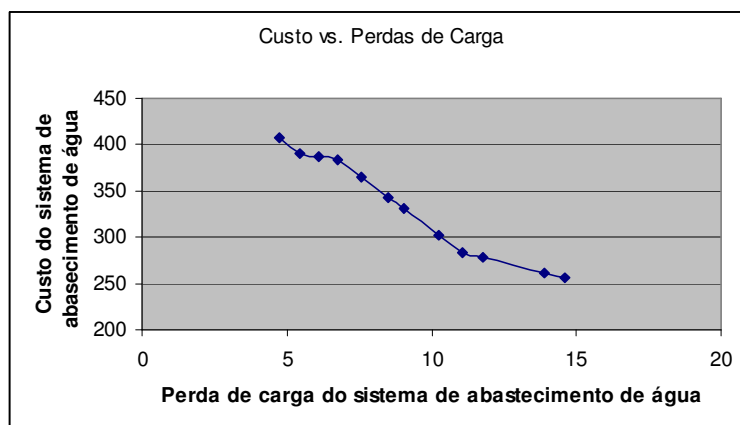


Gráfico 1 – Custo vs. Perdas de Carga

Com estes resultados pode-se compreender a influência da redução das perdas de carga com o aumento do custo associado do sistema de abastecimento de água. Além do mais, pode-se ver pelos resultados obtidos (ver [Anexos 10.2.1.3.](#)), que esta optimização de pressões não baixa da velocidade mínima imposta, pelo que pára assim que o seu caminho crítico não permita aumentar os diâmetros por exceder o diâmetro máximo comercializável, por exceder negativamente o valor da velocidade mínima, ou por não estar perante o caminho crítico.

5.6.2. PROGRAMA 2

5.6.2.1. Situação 2.a

*Situação Normal*

Através da gestão da informação, se pode chegar à seguinte figura que retratam os pontos principais [1 até 10000] e os pontos secundários [10001 até 99999].

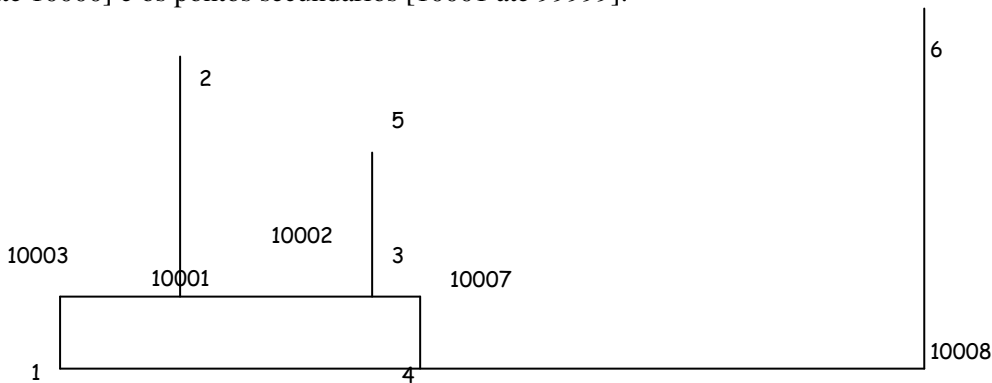


Fig. 36 – Esquema das Bases de Cálculo para o PRP2 com a indicação dos pontos – situação 2.a

Quanto aos resultados obtidos através da execução do programa pode-se constatar que os trajectos implantados por ordem são:

Tabela 17 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.a

1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
4	3	2	5	6
1	10007	10001	10002	10008
	4	10003	10001	4
	1	1	10003	1
			1	

Preço Total: 104.32

Neste caso não houve lugar a reversibilidade do escoamento, uma vez que pelos cálculos não se chegou à conclusão ser mais económico alterar trajectos já existentes, por imposição de um novo trajecto ter que passar com escoamento inverso num dado troço.

Estes valores indicam um escoamento otimizado, estando os trajectos implantados na seguinte figura:

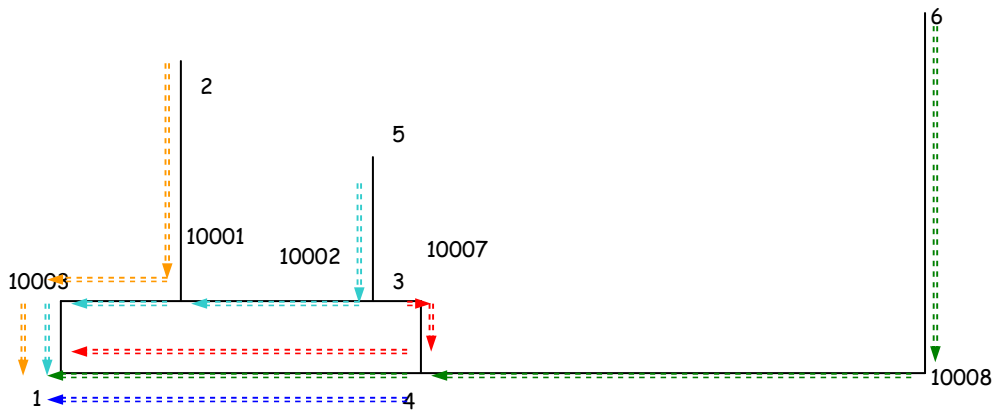


Fig. 37 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.a

A situação que levanta mais dúvidas é o facto de no momento da decisão do p.p. 5, este não ir pelo caminho 5-3-10007-4-1, uma vez que pouparia o trajecto 10002-10001 e só perderia o trajecto 10002-3. Ora, é precisamente pelo facto de nessa altura já estar na conduta 4-1 o caudal provindo do p.p.3 e do caudal do p.p.4, o que faria aumentar o diâmetro. Assim, por cálculos económicos chegou-se à conclusão que seria mais benéfico ter mais metros de conduta, porém, com o custo global final mais económico.

Após implantação deste p.p.5, pode verificar-se que o trajecto referente ao p.p.3 pode ter alguma vantagem em ser verificado novamente já que com a inclusão do trajecto do p.p.5, este fez encurtar a distância do p.p. 3 a um ponto pertencente ao sistema de abastecimento. Porém, só com cálculos se poderia chegar a tal conclusão.

É por esse facto que uma iteração intermédia, explicada no Capítulo 8.1, levaria a uma melhor e mais eficaz optimização do traçado, uma vez que iria “varrer” novamente as possibilidades de caminhos mais económicos, quando o sistema base de trajectos implantados sofresse alteração.

#### 5.6.2.2. Situação 2.b

*Situação com caudais instantâneos muito baixos o que representa um paralelismo com a escolha do caminho mais curto*

Alterações:

$$(Q1 = 0 \text{ l/s})$$

$$Q2 = Q3 = Q4 = Q5 = Q6 = 0.0001 \text{ l/s}$$

Através da gestão da informação, se pode chegar à seguinte figura que retratam os pontos principais [1 até 10000] e os pontos secundários [10001 até 99999]. De salientar que a numeração dos p.p.'s sofreram alteração em relação à situação 2.a.!!!

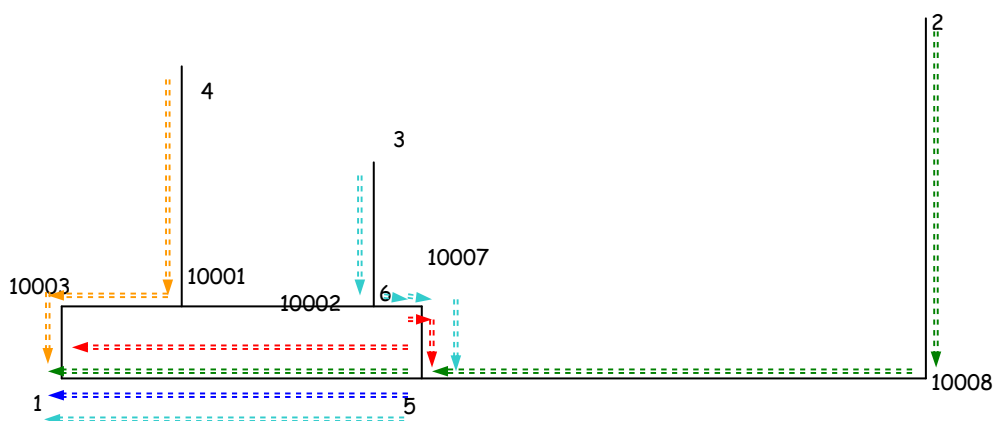


Fig. 38 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.b

Quanto aos resultados obtidos através da execução do programa podemos ver que, os trajectos implantados por ordem são:

Tabela 18 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.b

1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
5	6	3	4	2
1	10007	10002	10001	10008
	5	6	10003	5
	1	10007	1	1
		5		
		1		

Preço Total:	49.14
--------------	-------

Neste caso também não houve lugar a reversibilidade do escoamento, uma vez que como impusemos caudais muito pequenos (0.0001 l/s), a soma de todos eles nunca iria provocar mudança de diâmetros, pelo que o que iria influenciar era apenas a distância (comprimento de cada troço ou de cada trajecto). Dessa forma estaríamos perante um estudo de escoamento que tem um paralelismo com o estudo dos caminhos mínimos. Assim, como se implantam caminhos do mais curto para o mais longo, esta situação nunca se verificará.

#### ESTUDO CONCEPTUAL DA “ITERAÇÃO INTERMÉDIA”

Porém, se houvesse a função de “Iteração Intermédia” que faria com que após a implementação de um dado trajecto se verificassem se os implantados anteriormente teriam agora um trajecto mais económico, a reversibilidade do escoamento poderia existir, uma vez que é de fácil percepção que neste caso o caminho óptimo seria o dado pela [Fig. 40](#) o que levaria à alteração do troço 5-1, logo após a 4ª implementação (a do p.p.4).

Desta forma, se tivéssemos possível a denominada “Iteração Intermédia” poderíamos chegar a um valor melhor.

Estude-se a situação em que num dado instante se tinha:

Tabela 19 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.b – até 4ª implementação.

1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
5	6	3	4	
1	10007	10002	10001	
	5	6	10003	
	1	10007	1	
		5		
		1		

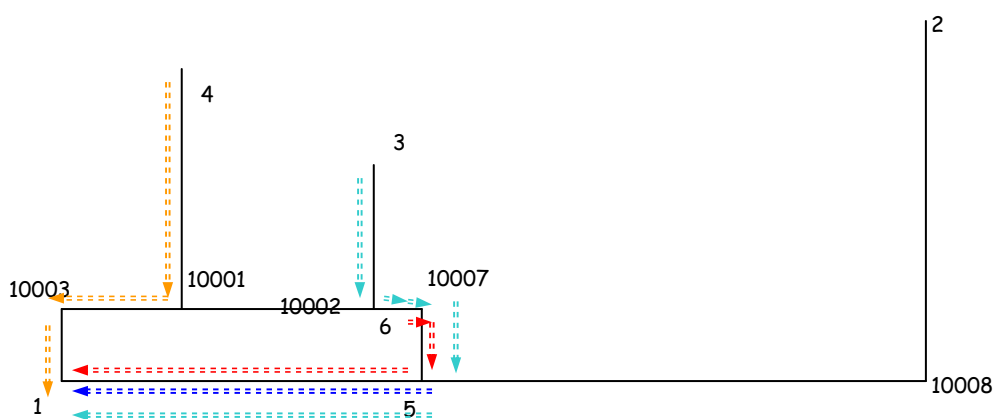


Fig. 39 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.b – até 4ª implementação

Nesta altura, se houvesse a referida iteração intermédia era de fácil compreensão que aboliríamos o trajecto 5-1 e implantaríamos o 5-10007-6-10002-10001-10003-1. Nesta ocasião, e com o escoamento inverso no troço 10007-5, 6-10007 (dos p.p.'s 6 e 3) e 10002-6 (do p.p.3), ficaríamos com:

Tabela 20 – Alteração devido à “Iteração Intermédia”. Fez outros p.p.'s terem diferentes trajectos

1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
5	6	3	4	
10007	10002	10002	10001	
6	10001	10001	10003	
10002	10003	10003	1	
10001	1	1		
10003				
1				

O último troço implantado seria 2-10008-5-10007-6-10002-10001-10003-1, pelo que formaria, idealmente, o seguinte traçado:

Tabela 21 – Implementação do 5º p.p.

1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
5	6	3	4	2
10007	10002	10002	10001	10008
6	10001	10001	10003	5
10002	10003	10003	1	10007
10001	1	1		6
10003				10002
1				10001
				10003
				1

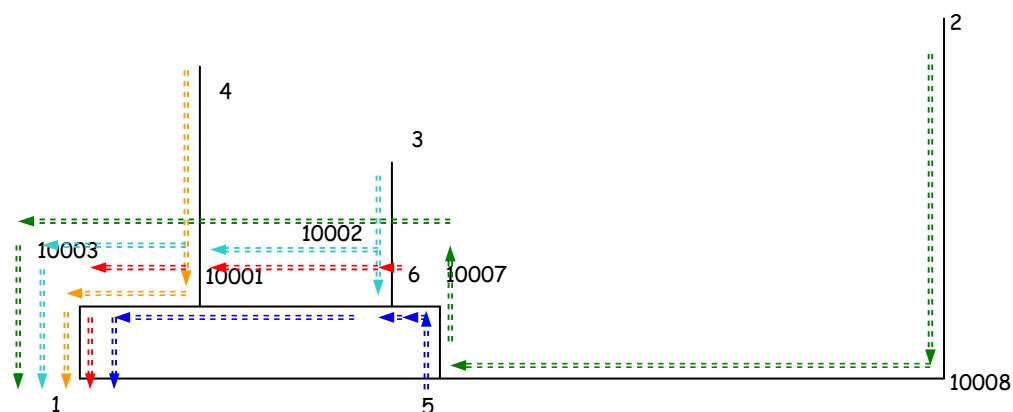


Fig. 40 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.b – “Iteração Intermédia”

*Nota: o resultado final não foi este. Esta figura apenas demonstra pela percepção da problemática, o caminho ideal mais económico, caso houvesse a “Iteração Intermédia” aplicada à situação 2.b.*

Com esta situação se pode verificar de forma mais eficaz o trajecto mais económico associado ao trajecto mais curto, uma vez que apenas interferem as distâncias pois o preço por metro é sempre o mesmo (caudais instantâneos muito pequenos). Serviu então de modelo para perceber melhor as funcionalidades intrínsecas do programa, assim como perceber novas propostas de melhoria e sua implicação no resultado óptimo.

Assim, esta situação demonstrou a necessidade de haver a tal “Iteração Intermédia” de que não se foi capaz de implementar mas que traria uma optimização muito mais eficaz. Será alvo de discussão nas Proposta de Melhoria no Capítulo 8.1.

### 5.6.2.3. Situação 2.c

*Situação em que se impõe preferível o aumento de comprimento de tubagem (maior número de metros de tubagem) ao aumento do diâmetro da mesma, ou seja, criando uma grande diferença entre o preço por metro de dois diâmetros seguidos de uma determinada tubagem.*

Tabela 22 – Diâmetros do material PP\_PN20

#### Polipropileno GENERICO PN20

Diâmetros [mm]			
Diam nom.	Espess.	Diam int.	Preco/m
16	2.7	10.6	0.91
20	3.4	13.2	1.16
25	4.2	16.6	1.76
32	5.4	21.2	2.89
40	6.7	26.6	4.74
50	8.4	33.2	7.38
63	10.5	42	11.61
75	12.5	50	16.72
90	15	60	24.27

Alterações:

$(Q1 = 0 \text{ l/s})$

$Q2 = Q3 = Q4 = Q5 = Q6 = 0.03 \text{ l/s}$

Preços por metro das condutas:

Nesta situação está-se a obrigar a que haja uma inversão num determinado escoamento, de forma a validar os cálculos inerentes à “Reversibilidade do Escoamento”.

Chegou-se ao valor de caudais instantâneos de 0.03 l/s através do seguinte raciocínio: se houvesse um grande salto no que diz respeito ao preço por metro entre ter diâmetro nominal interior de 10.6mm e 13.2mm, então iria haver uma altura em que, à semelhança do que aconteceu em 2.b. e com caudais muito pequenos, se se somasse os três caudais instantâneos individuais não precisaria do diâmetro interior 13.2mm, mas sim apenas do de 10.6mm. Assim, chegados ao momento da implantação do p.p.2 (5ª implantação), este não deveria passar por 2-10008-5-1 uma vez que o troço 5-1 já tem 3\*Qi's e se tiver o 4º ficaria automaticamente pouco económico por ter que ir para o diâmetro seguinte (bastante mais caro) e por este troço ter um grande comprimento. Assim, só há a solução de alterar os trajectos dos p.p's 6 e 3 de forma a que haja um menor comprimento do troço com o preço exorbitante, ou seja, ter 4 \*Qi's no troço 10001-10003 e 10003-1 (provindos dos p.p's 4 e agora do 3, 6 e do 2). Desta forma verificaríamos se o processo de "Reversibilidade do Escoamento" estava a funcionar.

No que diz respeito aos resultados obtidos, verifica-se que o processo de "Reversibilidade do Escoamento" funciona, uma vez que o p.p.5 continua a fazer o caminho que estava fazendo e os trajectos dos p.p.'s 3 e 6 são alterados em virtude de uma escolha mais económica para o p.p.2. Com tudo isto é pois preferível ter o custo exorbitante por metro no trajecto (10001-10003) + (10003-1) do que no trajecto (5-1) pois este último é muito mais comprido, o que faria o custo subir enormemente.

Denote-se então, que através dos cálculos, e das premissas de valores impostos (nível de conforto, velocidades, coeficientes, etc) o caudal acumulado máximo que faz com que seja apenas preciso o diâmetro de 10.6mm é de 0.0901 l/s, pelo que se dividirmos por 3 teremos um valor de Qi para cada p.p. no máximo de 0.03 l/s. Só assim a velocidade máxima permitida não é excedida.

É inequívoca a introdução de um troço com o preço exorbitante uma vez que o p.p.2 ou passa por 5-1 sendo o 4º Qi neste troço, ou passará por 10001-10003 e 10003-1 levando consigo os Qi's dos p.p.'s 3 e 6 que por meio da análise da reversibilidade do escoamento fará que nesses dois troços haja 4\*Qi's (dos p.p.'s 4,3,6 e 2). Então, o relevante é saber por onde os 4\*Qi's deverão passar. A resposta é óbvia uma vez que, tal como dito anteriormente, terá de passar pelo(s) troço(s) que têm menor comprimento para que o custo seja menor.

Os resultados obtidos são então:

Preço Total:	555.85
--------------	--------

Tabela 23 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.c

1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
5	6	3	4	2
1	10002	10002	10001	10008
	10001	10001	10003	5
	10003	10003	1	10007
	1	1		6
				10002
				10001
				10003
				1

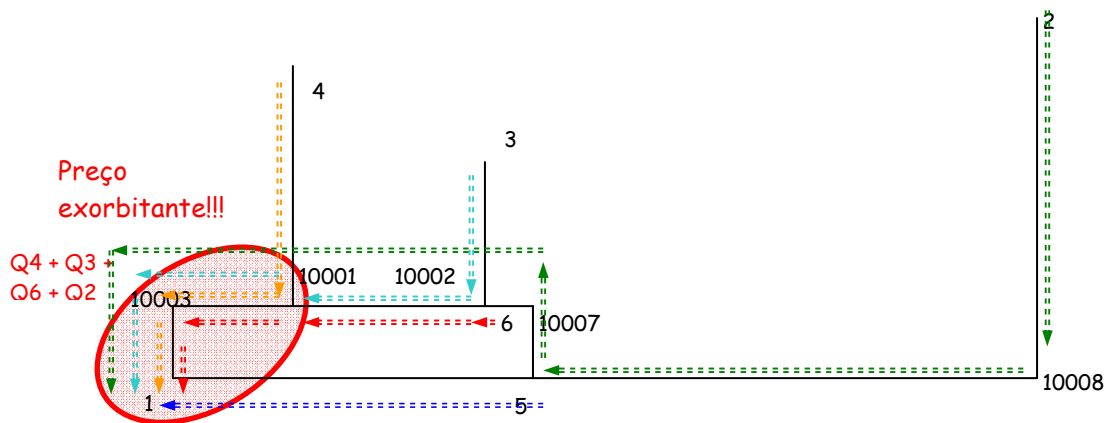


Fig. 41 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.c

ESTUDO CONCEPTUAL DA “ITERAÇÃO INTERMÉDIA”

De salientar que se a chamada “Iteração Intermédia” estivesse a funcionar, após esta implantação, descobrir-se-ia uma economia suplementar fazendo com que o p.p.6 em vez de contribuir para os 4\*Qi’s dos troços 10001-10003 e 10003-1 contribuiria para o troço 5-1 (levando consigo também o trajecto referente ao p.p.2 pela análise do “Reversibilidade do Escoamento” ficando este troço apenas com 3\*Qi’s e os troços 10001-10003 e 10003-1 com 2\*Qi’s, o que levaria a que todos os trajectos do sistema de abastecimento de água não tivessem em si troços com diâmetros interiores diferentes de 10.6mm o mesmo que dizer que nenhum troço teria preços exorbitantes.

Os resultados, se se tivesse incluído no PRP2 o sistema de “Iteração Intermédia”, seriam:

Tabela 24 – Faseamento na implantação de trajectos – situação 2.c – “Iteração Intermédia”

1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
5	6	3	4	2
1	10002	10002	10001	10008
	10001	10001	10003	5
	10003	10003	1	1
	1	1		

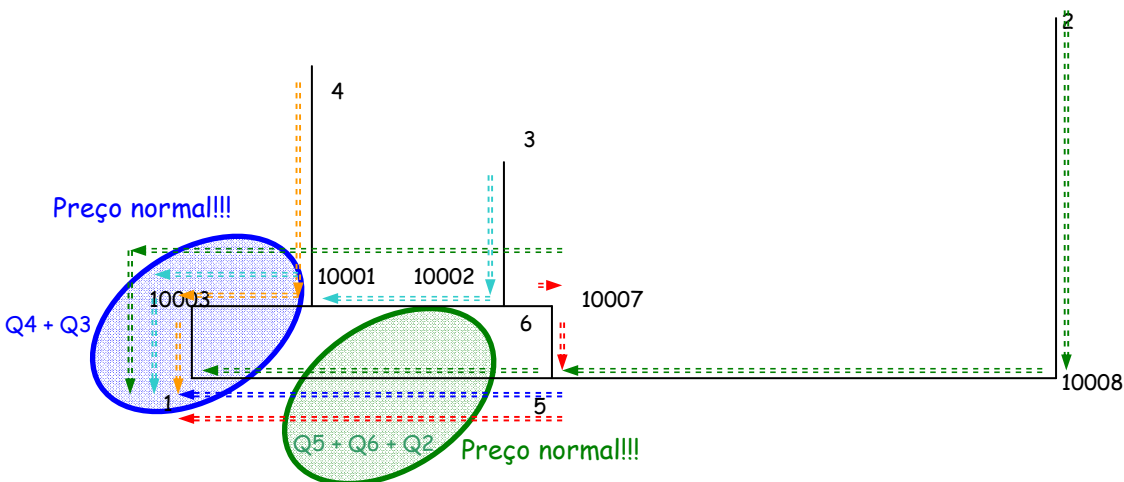


Fig. 42 – Indicação da direcção do escoamento do sistema – situação 2.c – “Iteração Intermédia”

## **5.7. CONCLUSÃO**

No que concerne à aplicação dos programas de cálculo, esta demonstrou ser bastante fiável, simples, e aqui e ali um pouco inovadora, uma vez que consegue integrar o AutoCAD com o programa de cálculo, assim como conceptualmente ser diferente do usual.

Quanto aos próprios resultados obtidos pelos programas, estes demonstraram a fiabilidade na concepção dos mesmos, uma vez que os resultados davam exactamente o que se esperava que dessem.

Foram duas abordagens de optimização distintas que tivemos em causa.

No Programa 1, tivemos a optimização de um traçado já concebido e que fazia eficazmente a optimização das pressões através do aumento dos diâmetros das condutas do caminho crítico. Com esta optimização conseguiu-se que, se por ventura, um sistema de abastecimento de água estiver com as pressões um pouco à quem do desejado, é possível, sem mexer no traçado, alcançar uma optimização das pressões até ao valor que se deseje. Pôde-se verificar ainda que a redução das perdas de carga trazia um aumento do preço da instalação de forma aproximada à linear. Para tal concluiu-se que este resultado era influenciado por vários factores, um dos quais o próprio preço dos diâmetros do material utilizado. Estes preços podem influenciar uma vez que pela lei do custo de produção ou lei do mercado/económica, à medida que se avançam nos diâmetros, nada leva a crer que o aumento de preço dos mesmos tenha a forma linear. Assim, esse aumento de preço influencia a forma como o gráfico se comportará. Outro factor teve a ver com a própria gama de valores dos diâmetros que foram utilizados, ou seja, tal como se pode verificar na Tabela Anexo Tabela8 no Capítulo 10.2.1.3., a gama de valores de diâmetros atingida até que não se ultrapassasse negativamente o valor da velocidade mínima andou na ordem dos 20 aos 40mm de diâmetro nominal. Seria um caso interessante o estudo da influência dos preços dos diâmetros de uma dada tubagem na optimização de pressões de um abastecimento de águas, estudo esse que foge um pouco à razão de ser desta tese, pelo que não se aprofunda esse tema no âmbito desta tese.

Quanto ao Programa 2 verificou-se que as funcionalidades a que estava proposto funcionaram com a normalidade que se lhe era exigido.

Porém fica sempre uma ressalva em todos eles, de que soluções mais óptimas poderiam ser encontradas se se pudesse implementar a chamada “Iteração Intermédia” que é explicada nas Propostas de Melhoria no Capítulo 8.1., assim como ao longo do Capítulo 5.6.2.2. e Capítulo 5.6.2.3.

Para além desta debilidade demonstrou-se que a abordagem e a simbiose entre a Teoria de Grafos / Teoria de Decisão e os Cálculos Hidráulicos funcionaram bem, tal como demonstram os resultados, uma vez que conceptualmente eram os resultados expectáveis.

Comprovou-se primeiramente a resolução de um sistema normal, em que os caudais instantâneos eram diferentes, pelo que os resultados poderiam ser mais imprevisíveis. Posteriormente, para melhor compreensão e verificação de resultados, se implementou uma solução em que os caudais eram muito pequenos de forma a que pudesse haver uma relação estreita entre este sistema de abastecimento de água e uma pura Teoria de Grafos modificada. Esta Teoria de Grafos teria de ser modificada para que apenas os pontos principais tivessem ligação obrigatória à rede. Verificou-se que esta solução dava resultados consistentes com os que, pela simples Teoria de Grafos, eram facilmente deduzíveis, tendo em consideração o que o programa se propunha desenvolver e o nível de optimização implantado. Por último, quis-se testar a robustez da chamada “Reversibilidade do Escoamento” uma vez que é sempre possível tal acontecer em malhas fechadas. Esta análise passou no teste uma vez que foram impostas determinadas condicionantes que obrigavam o escoamento, num determinado momento, a mudar de sentido. Comprovou-se então que a concepção desta abordagem estava bem definida.

O único problema neste programa 2 é o facto de as perdas de carga /pressões não puderem entrar como factor relevante no poder decisório uma vez que exponenciava a dificuldade numa abordagem deste tipo. Porém é fácil entender que coligindo os dois programas, tal situação pode ser ultrapassada, uma vez que tendo um sistema definido pelo programa 2, podem-se introduzir esses dados no Programa 1 e fazer correr a optimização de pressões caso se verifique uma insuficiência neste parâmetro.

Para além destes factores, o facto de se ter programado em VBA conseguiu por um lado a simplificação inerente à intuitividade no uso da mesma, porém introduziu algumas menos-valias no que se refere à lentidão dos cálculos e na impossibilidade de ter um programa extenso, já que a determinada altura a Macro apresentou um erro "*Procedure is too large*" que teve de ser colmatado com base na criação extra de procedimentos mais curtos, mas que obrigou a uma interacção mais cuidada entre eles.

# 6

## CASOS DE ESTUDO COMPARATIVOS. SOFTWARE “CYPE”

### 6.1. INTRODUÇÃO

Existem vários programas informáticos disponíveis para o dimensionamento hidráulico. No entanto nenhum deles disponibiliza a optimização proposta pelo Programa 2 que foi descrita no Capítulo 4. Exemplos de programas informáticos comumente utilizados são o “EPANET” e o “Cype-Módulo Instalação de Edifícios”. Tanto um como outro são programas muito testados e robustos. Porém, utilizar-se-á o “Cype” como Caso de Estudo Comparativo que servirá como base de comparação ao método proposto e mais concretamente aos PRP’s, uma vez que é mais vocacionado para o dimensionamento do sistema de abastecimento predial de água tendo para o efeito um módulo específico. Todas as constantes são passíveis de serem alteradas ao gosto do utilizador, assim como tem a possibilidade de se optar por dois métodos de cálculo hidráulico diferentes: pelo método Malafaya-Baptista ou pelo método de Colebrooke-White.

Assim, este programa comercial validará ou servirá de comparativo do método proposto de resolução no âmbito desta tese.

### 6.2. SOFTWARE “CYPE”

#### 6.2.1. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE “CYPE”

A Cype-Ingenieros é uma empresa de criação de *software* espanhola que tem já mais de 60 diferentes módulos que ajudam o projectista a desenvolver os seus cálculos em áreas tão diversas quanto Estruturas, Instalações de Edifícios, Geotecnia, Planeamento, Direcção de Obra, Isolamentos, entre muitas outras. Os diversos módulos do *software* da Cype-Ingenieros são distribuídos em Portugal exclusivamente pela empresa Top-Infomática. No caso em concreto, o módulo utilizado para o Caso de Estudo foi o de “Instalações de Edifícios – Águas”. Este *software* permite a implantação do sistema de abastecimento de águas em vários pisos, permite a introdução de elementos hidráulicos tão variados como válvulas, depósitos, purgas, entre outros, assim como permite o dimensionamento do mesmo com a verificação de pressões.

No entanto apresenta debilidade no que diz respeito à importação de dados, nomeadamente do AutoCAD. Este *software* apenas permite a importação de ficheiros provindos de programas de DAC mas apenas como máscaras, ou seja, sem que esses dados sejam editáveis, ou seja como se tratasse de

uma imagem que se pudesse colocar por detrás da tela de desenho. Outra debilidade no que diz respeito à comparação com o Programa 2 propostos, remete-se com o facto de não permitir o dimensionamento de uma malha fechada.

Assim, apesar destas debilidades, mas essencialmente pelas suas virtudes e potencialidades se utilizará este *software* para validar ou servir de comparativo ao Método Proposto de Resolução desta tese.

### 6.2.2. INTRODUÇÃO DE DADOS

A introdução de dados neste programa informático é muito intuitivo. No entanto tem a desvantagem de ser necessário criar todo o traçado novamente sem ser possível importá-lo directamente do AutoCAD.

Serão criados dois cenários, à semelhança das Bases de Cálculo (Capítulo 3.3.), que servirão de base comparativa aos PRP's que esta tese desenvolve.

Para ser um método tão parecido quanto possível com os PRP's a fim de se poder obter resultados que se possam comparar, a introdução dos valores das incógnitas têm de estar de acordo com as premissas das Bases de Cálculo.

Para além do traçado definido nas Bases de Cálculo, e da escolha da tubagem PP\_PN20, há a considerar ainda os seguintes valores:

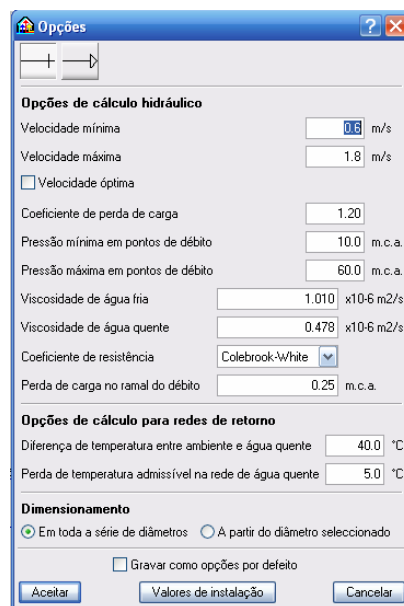


Fig. 43 – Introdução de valores no *software* “Cype”

### 6.2.2.1. Cenário a)

Com a introdução de todos os valores chegou-se ao seguinte traçado:

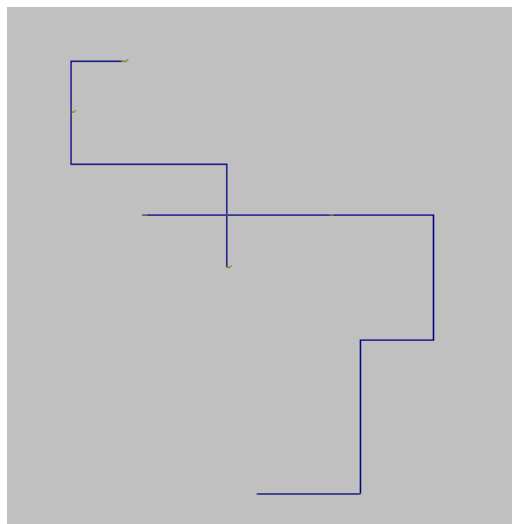


Fig. 44 – Traçado no *software* “Cype” – cenário a)

### 6.2.2.2. Cenário b)

Este cenário teve na sua criação dois problemas que se tiveram de contornar, aquando do desenho do mesmo.

Um deles deveu-se ao facto de ele não conseguir considerar uma malha fechada nos seus cálculos, pelo que se foi obrigado a abrir a malha. O ponto em que se devia abrir a malha foi escolhido tendo como conhecido o trajecto do abastecimento de água através do PRP2. Assim, este facto só foi possível graças aos resultados obtidos anteriormente, pondo em causa a utilidade deste *software* comercial uma vez que não dá resposta a esta preocupação do dimensionamento de uma malha fechada. No entanto achou-se conveniente calcular este cenário para validar os resultados obtidos pelo referido PRP.

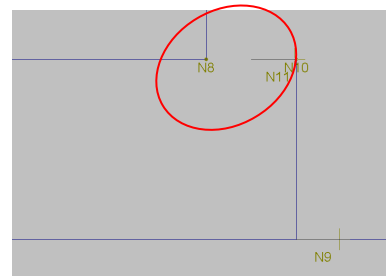


Fig. 45 – Particularidade de abertura da malha fechada

Outro problema foi o facto do programa apenas considerar os denominados pontos principais ou pontos que representam os elementos hidráulicos, como os situados nas extremidades, assumindo então a última extremidade em que não se inseriu o valor do caudal instantâneo como sendo o ponto de entrada do sistema. Acontece que segundo o traçado delineado, o ponto de origem não estava situado numa extremidade livre mas sim num ponto de confluência de duas linhas. Desta forma, para se contornar este problema, teve-se de adicionar uma pequena tubagem nesse ponto para que aí sim, existisse uma extremidade livre e que dessa forma fosse considerada como o ponto de origem do abastecimento de água.

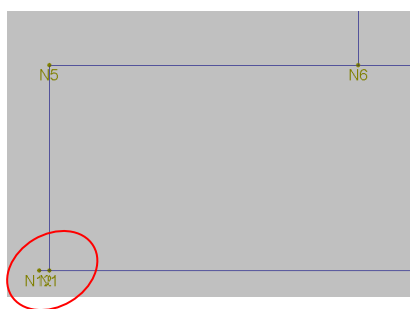


Fig. 46 – Particularidade de extremidade livre obrigatória



## TUBAGENS:

Tabela 25 – Descritivo das tubagens – cenário a)

<b>Grupo: Rés-do-chão</b>			
Referência	Descrição	Resultados	Verificação
N1 -> N2	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.46 l/s Caudal bruto: 0.70 l/s Velocidade: 1.29 m/s Perda de pressão: 1.26 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N2 -> N6	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 44.00 m	Caudal: 0.46 l/s Caudal bruto: 0.70 l/s Velocidade: 1.29 m/s Perda de pressão: 5.56 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N4 -> N8	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 8.00 m	Caudal: 0.10 l/s Velocidade: 1.13 m/s Perda de pressão: 1.93 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N4 -> N9	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 5.00 m	Caudal: 0.15 l/s Velocidade: 1.70 m/s Perda de pressão: 2.51 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N4 -> N3	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 25.00 m	Caudal: 0.32 l/s Caudal bruto: 0.35 l/s Velocidade: 1.47 m/s Perda de pressão: 5.48 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N6 -> N4	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.42 l/s Caudal bruto: 0.60 l/s Velocidade: 1.19 m/s Perda de pressão: 1.09 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N3 -> N7	PP-R PN20-Ø20 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.10 l/s Velocidade: 0.73 m/s Perda de pressão: 0.83 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações

## NÓS:

Tabela 26 – Descritivo dos nós – cenário a)

<b>Grupo: Rés-do-chão</b>			
Referência	Descrição	Resultados	Verificação
N1		NÓ ENTRADA Pressão: 25.00 m.c.a.	
N2		Pressão: 23.74 m.c.a.	
N8	Consumo genérico: 0.10 l/s	Pressão: 15.16 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N4		Pressão: 17.09 m.c.a.	
N9	Consumo genérico: 0.15 l/s	Pressão: 14.57 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N7	Consumo genérico: 0.10 l/s	Pressão: 10.78 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N6	Consumo genérico: 0.10 l/s	Pressão: 18.18 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N3	Consumo genérico: 0.25 l/s	Pressão: 11.61 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações

Nota: Os resultados globais deste software podem ser consultados no Anexo 10.3.1.

### 6.2.3.2. Cenário b)

Os resultados obtidos foram os seguintes:

#### **TRACADO:**

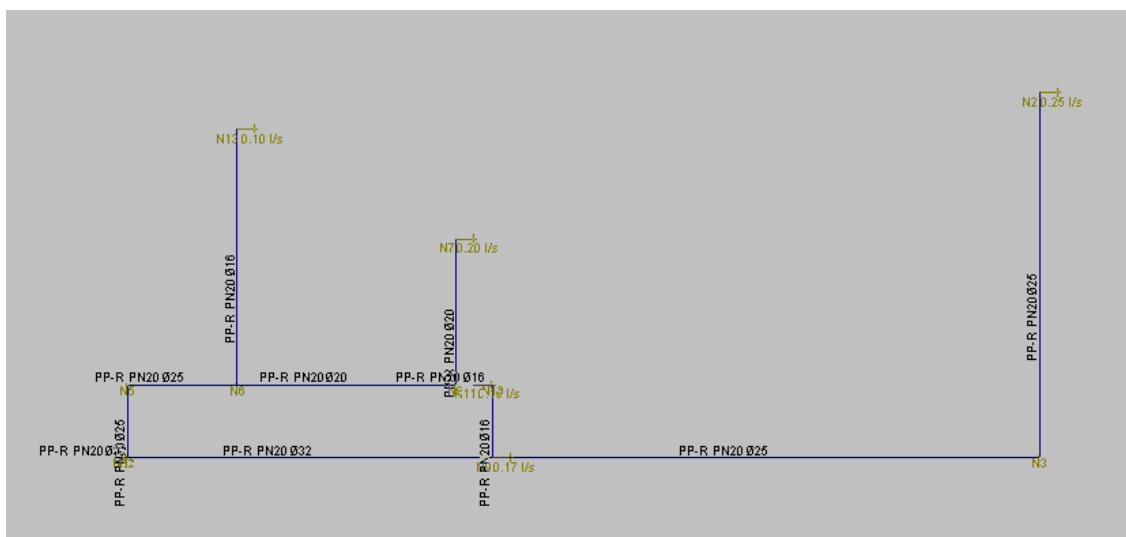


Fig. 49 – Traçado no *software* “Cype” – cenário b) – com o respectivo dimensionamento

#### **TUBAGENS:**

Tabela 27 – Descritivo das tubagens – cenário b)

Grupo: Rés-do-chão			
Referência	Descrição	Resultados	Verificação
N1 -> N9	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.41 l/s Caudal bruto: 0.57 l/s Velocidade: 1.16 m/s Perda de pressão: 1.04 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N1 -> N5	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 2.00 m	Caudal: 0.29 l/s Caudal bruto: 0.30 l/s Velocidade: 1.36 m/s Perda de pressão: 0.38 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N9 -> N3	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 15.00 m	Caudal: 0.25 l/s Velocidade: 1.16 m/s Perda de pressão: 2.11 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N9 -> N10	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 2.00 m	Caudal: 0.15 l/s Velocidade: 1.70 m/s Perda de pressão: 1.01 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N3 -> N2	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.25 l/s Velocidade: 1.16 m/s Perda de pressão: 1.41 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações

N5 -> N6	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 3.00 m	Caudal: 0.29 l/s Caudal bruto: 0.30 l/s Velocidade: 1.36 m/s Perda de pressão: 0.57 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N6 -> N13	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 7.00 m	Caudal: 0.10 l/s Velocidade: 1.13 m/s Perda de pressão: 1.68 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N6 -> N8	PP-R PN20-Ø20 Comprimento: 6.00 m	Caudal: 0.20 l/s Velocidade: 1.46 m/s Perda de pressão: 1.73 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N8 -> N7	PP-R PN20-Ø20 Comprimento: 4.00 m	Caudal: 0.20 l/s Velocidade: 1.46 m/s Perda de pressão: 1.15 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N10 -> N11	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 0.50 m	Caudal: 0.15 l/s Velocidade: 1.70 m/s Perda de pressão: 0.25 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N12 -> N1	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 0.10 m	Caudal: 0.51 l/s Caudal bruto: 0.87 l/s Velocidade: 1.44 m/s Perda de pressão: 0.02 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações

### NÓS:

Tabela 28 – Descritivo dos nós – cenário b)

<b>Grupo: Rés-do-chão</b>			
Refer.	Descrição	Resultados	Verificação
N1		Pressão: 14.56 m.c.a.	
N9	Consumo genérico: 0.17 l/s	Pressão: 13.52 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N3		Pressão: 11.41 m.c.a.	
N2	Consumo genérico: 0.25 l/s	Pressão: 10.00 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N5		Pressão: 14.18 m.c.a.	
N6		Pressão: 13.61 m.c.a.	
N13	Consumo genérico: 0.10 l/s	Pressão: 11.93 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N8		Pressão: 11.88 m.c.a.	
N11	Consumo genérico: 0.15 l/s	Pressão: 12.26 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N10		Pressão: 12.51 m.c.a.	
N7	Consumo genérico: 0.20 l/s	Pressão: 10.73 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N12		NÓ ENTRADA Pressão mínima necessária: 14.57 m.c.a.	

Nota: Os resultados globais deste software podem ser consultados no [Anexo 10.3.2](#).

### **6.3. CONCLUSÃO**

Pôde-se constatar que o programa informático comercial em causa calcula o sistema de abastecimento de água com grande rapidez e fiabilidade.

As possibilidades são imensas, nomeadamente com a vasta gama de elementos hidráulicos que se podem introduzir no processo de cálculo. Assim, este *software* torna-se poderoso e muito completo, mais vocacionado para um dimensionamento hidráulico complexo do que propriamente para um dimensionamento optimizado de raiz do traçado.

Quanto aos resultados, estes foram ligeiramente diferentes dos obtidos pelos PRP's, mas isso deveu-se sobretudo a uma particularidade na consideração dos caudais de cálculo, tal como pode ser verificado na Crítica de Resultados no Capítulo 7.2 .

Denota-se ainda um excelente *layout* dos dados de saída (Resultados) que podem ser consultados no Anexo 10.3.

Conclui-se que é um bom *software* a ter em conta para a comparação de resultados entre ele e o método proposto desta tese no que diz respeito apenas ao dimensionamento hidráulico. Porém, no que diz respeito ao poder decisório da elaboração de um próprio traçado de raiz optimizado (e não de um traçado pré-definido) com conexão directa ao dimensionamento hidráulico, assim como ao aproveitamento do traçado em formato de DAC, este *software* não permite, na sua essência, uma comparação fiel entre os dois métodos, uma vez que não incorpora em si estas funcionalidades.

# 7

## COMPARAÇÃO DE RESULTADOS: “CYPE” VS. PRP’s

A comparação dos resultados por meio destes dois métodos distintos reveste-se de muita importância uma vez que é através desta análise que se verificam a fiabilidade e robustez, e se validam das soluções em estudo.

### 7.1. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

#### 7.1.1. PROGRAMA 1 (GENÁRIO 1.A) VS. “CYPE” (GENÁRIO A))

Demonstre-se o comparativo entre os resultados do dimensionamento hidráulico pelo programa 1 e pelo programa informático “Cype”. A azul (ou em baixo e à direita) estão os resultados obtidos pelo Programa de Resolução 1.a., e a vermelho (ou em cima e à esquerda) os resultados obtidos pelo “Cype”.

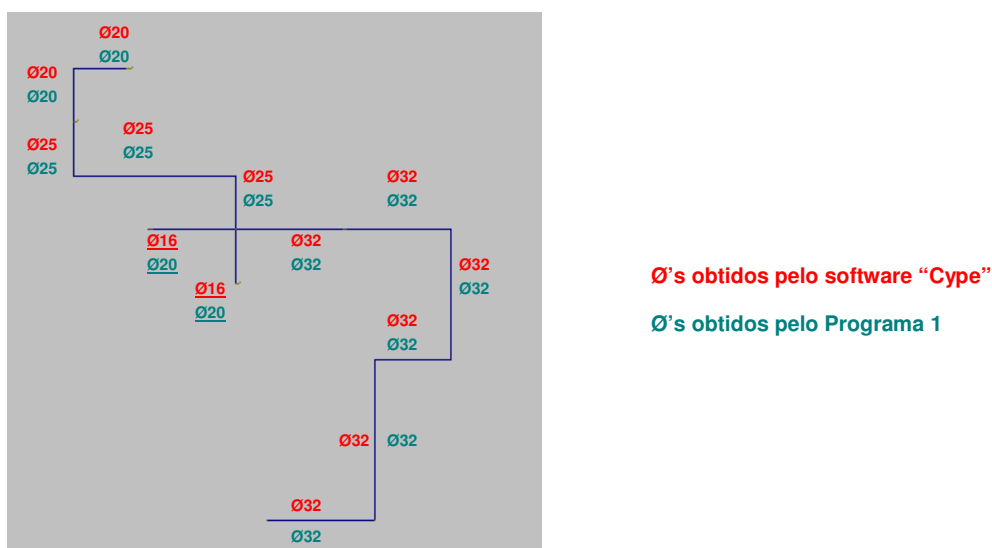


Fig. 50 – Comparação de diâmetros entre PRP1 e Cype

Note-se que os diâmetros diferentes estão sublinhados.

### 7.1.2. PROGRAMA 2 (CENÁRIO 2.A) VS. “CYPE” (CENÁRIO B))

Demonstre-se o comparativo entre os resultados do dimensionamento hidráulico pelo programa 2 e pelo programa informático “Cype”. A azul (ou em baixo e à direita) estão os resultados obtidos pelo Programa de Resolução 2.a., e a vermelho (ou em cima e à esquerda) os resultados obtidos pelo “Cype”.

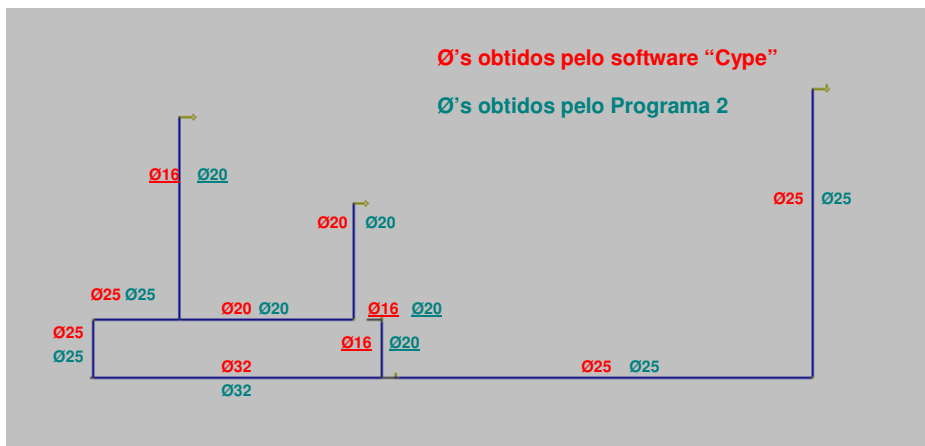


Fig. 51 – Comparação de diâmetros entre PRP2 e Cype

*Note-se que os diâmetros diferentes estão sublinhados.*

## 7.2. CRÍTICA DE RESULTADOS

No que diz respeito aos resultados vê-se uma grande consistência dos mesmos. Porém existe uma diferença em alguns diâmetros. Como forma de crítica de resultados, exemplifique-se para o exemplo patente no Capítulo 7.1.2. a seguinte tabela:

Tabela 29 – Comparação de diâmetros entre PRP2 e o “Cype”

Programa usado	Referência	Diâmetro	Caudal Cálculo	Caudal acumulado
Cype	N1-N9	32	0.41	0.57
PRP2	4-1	32	0.41	0.57
Cype	N1-N5	25	0.29	0.3
PRP2	10003-1	25	0.29	0.3
Cype	N9-N3	25	<u>0.25</u>	
PRP2	10008-4	25	0.27	<u>0.25</u>
Cype	N9-N10	<u>16</u>	0.15	
PRP2	4-10007	<u>20</u>	0.21	<u>0.15</u>
Cype	N3-N2	25	0.25	
PRP2	6-10008	25	0.27	<u>0.25</u>
Cype	N5-N6	25	0.29	0.3
PRP2	10001-10003	25	0.29	0.3
Cype	N6-N13	<u>16</u>	0.1	
PRP2	2-10001	<u>20</u>	0.17	<u>0.1</u>
Cype	N6-N8	20	0.2	
PRP2	10001-10002	20	0.24	<u>0.2</u>
Cype	N8-N7	20	0.2	
PRP2	5-10002	20	0.24	<u>0.2</u>
Cype	N10-N11	<u>16</u>	0.15	
PRP2	3-10007	<u>20</u>	0.21	<u>0.15</u>
Cype	N12-N1	32	0.51	0.87
PRP2	EXTRA	----	----	----

Pela análise desta contraposição de resultados, verifica-se que a diferença reside num facto bastante simples. O programa proposto de resolução (PRP) encara o caudal acumulado como a soma de caudais individuais ou, no caso de apenas um dispositivo, igual ao seu valor de caudal instantâneo. Já o programa “Cype” quando há caudal num dado troço pertencente a apenas um dispositivo, este encara-o directamente como caudal de cálculo.

Em termos teóricos, encarar o caudal instantâneo unitário como caudal de cálculo será mais correcto, pois a passagem de caudal acumulado para caudal de cálculo tem subjacente o pressuposto de um coeficiente de simultaneidade, o que no caso de haver apenas um dispositivo, não faz sentido considerá-lo.

No entanto saliente-se ainda que nas regras básicas e práticas de dimensionamento em cálculo automático, usando por exemplo uma folha Excel, essa distinção de ter apenas um elemento a contribuir para um troço não é feita, pelo que se costuma considerar esse caudal igual ao caudal acumulado e depois passá-lo através das fórmulas dependentes do conforto, para caudal de cálculo. Veja-se o seguinte exemplo de um *software* comercial chamado “[HidroCalculo3](#)<sup>13</sup>”.

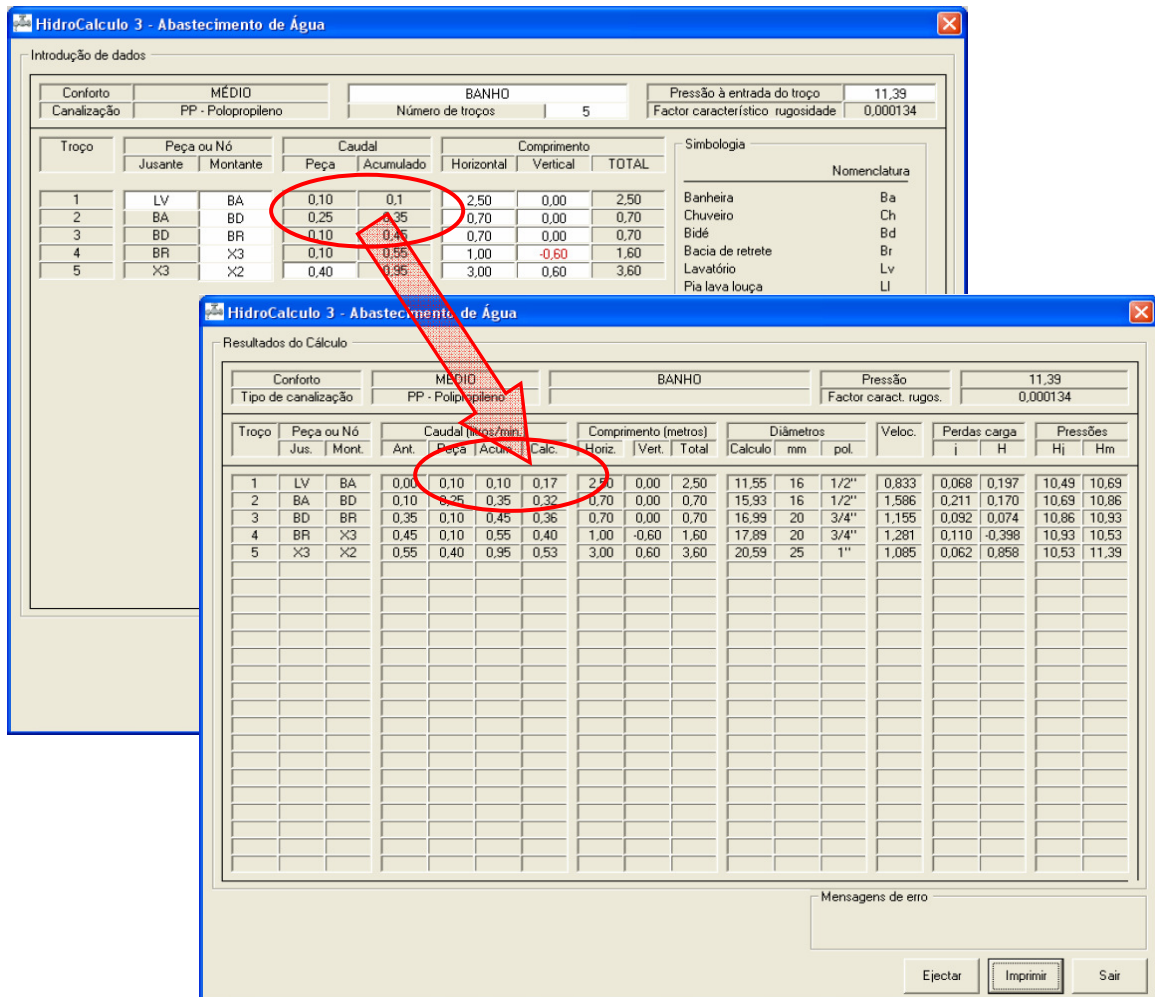


Fig. 52 – Caudal instantâneo singular e caudal de cálculo. *Software* “HidroCalculo3”

<sup>13</sup> Desenvolvido pela empresa LJL – Arquitectura e Engenharia, Lda.

Assim, igualar o caudal instantâneo único ao caudal acumulado e posteriormente passá-lo para caudal de cálculo faz com que se esteja no lado da segurança, mas também, refira-se, que se esteja no lado do sobredimensionamento.

Foi útil verificar esta situação para que numa proposta de melhoria, caso se entenda alterar a perspectiva de estar do lado da segurança mas também do sobredimensionamento para o cálculo rigoroso do regulamento, possa estar incluída esta situação.

## CONCLUSÕES

### 8.1. PROPOSTA DE MELHORIA

Tal como já referido anteriormente nas críticas e análises de resultados no [Capítulo 5.6.2.2.](#) e [Capítulo 5.6.2.3.](#), assim como nas conclusões no [Capítulo 5.7.](#), a inclusão de uma denominada “Iteração Intermédia” teria de ser capaz de após a implementação de um trajecto referente a um p.p., “varrer” todos os p.p.’s implementados do sistema, e através da análise dos caminhos, verificar novamente se existirá um caminho diferente do implementado que traga um custo mais económico. Esta abordagem proveio do facto de que após um determinado trajecto ser adicionado ao sistema, faça com que se criem condições de outros trajectos terem maior vantagem passando por um caminho diferente. Um simples exemplo pode ser melhor assimilado se estivermos apenas concentrados no cálculo do caminho mais curto, o que se relaciona intimamente com o facto de haver um caudal instantâneo muito pequeno que qualquer combinação possível de caudais acumulados não faça com que um troço tenha um diâmetro que não seja o mais pequeno. Veja-se o exemplo no [Capítulo 5.6.2.2.](#), em que apenas interferem as distâncias de cada troço, já que o preço por metro é uma constante em todos os troços.

Num caso como este passe-se a explicar quais os passos previstos se esta ferramenta estivesse também implantada no programa.

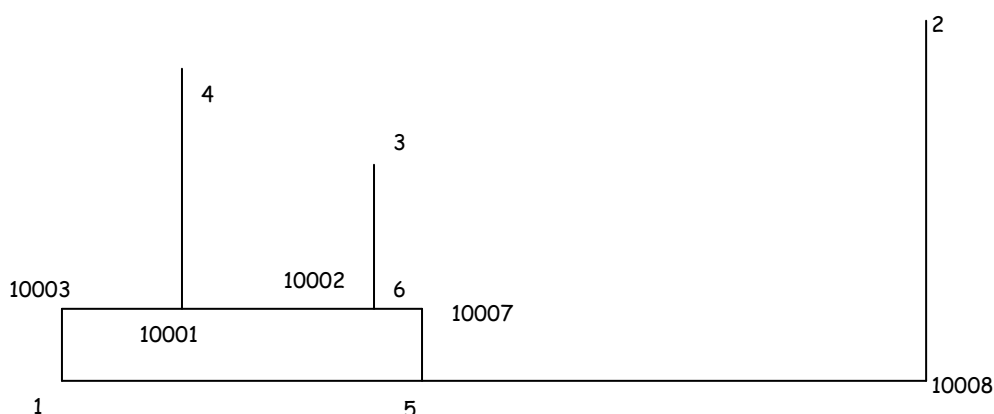
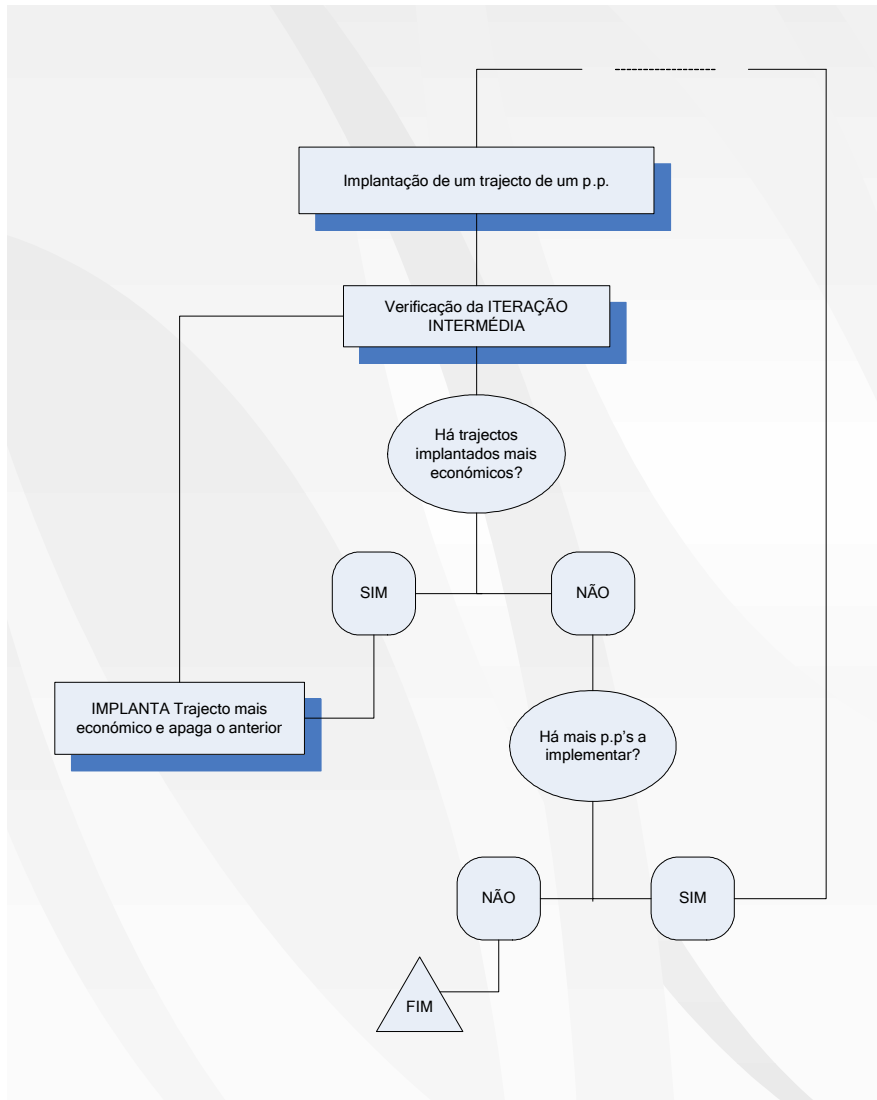


Fig. 53 – Esquema das Bases de Cálculo para o PRP2 com a indicação dos pontos – situação 2.b

Veja-se o fluxograma decisório desta ferramenta:



Fluxograma 7 – “Iteração Intermédia”

Agora explique-se, passo a passo o que seria de esperar:

Tabela 30 – Passos do processo decisório da “Iteração Intermédia”

Ordem nº:	1	2	3	4	5
<u>Troço implantado:</u>	5-1	6-10007-5-1	3-10002-6-10007-5-1	4-10001-10003-1	2-10008-5-10007-6-10002-10001-10003-1
<u>Verifica Iter. Interm. para que p.p.'s?</u>	N.a.	5	5 ; 6	5 ; 6 ; 3	5 ; 6 ; 3 ; 4
<u>Acha trajecto melhor?</u>	Não	Não	Não	<b>SIM</b>	Não
<u>Retira qual trajecto anterior?</u>	N.a.	N.a.	N.a.	5-1	N.a.
	N.a.	N.a.	N.a.	6-10007-5-1	N.a.
	N.a.	N.a.	N.a.	3-10002-6-10007-5-1	N.a.
	N.a.	N.a.	N.a.	5-10007-6-10002-10001-10003-1	N.a.
<u>Implanta qual trajecto novo?</u>	N.a.	N.a.	N.a.	6-10002-10001-10003-1	N.a.
	N.a.	N.a.	N.a.	3-10002-10001-10003-1	N.a.

O percurso final seria como a [Fig. 40](#) demonstra no [Capítulo 5.6.2.2.](#)

Para além desta mais-valia, poder-se-ia melhorar o método de optimização na sua generalidade com a inclusão de uma ferramenta que exportasse agora os dados provindos do Excel, importando-os para o

AutoCAD. Com essa mais-valia, o Projectista ou o utilizador não teria que se preocupar com o desenhar novamente o traçado proposto, nomeadamente pelo programa 2, em AutoCAD.

Esta visão de integrar todo o processo, é possível uma vez que por alguma pesquisa conseguiu-se chegar a alguns programas informáticos comerciais que possibilitam, com mais ou menos dificuldade, essas tarefas. Por exemplo o *software* “[Points Import AC](#)”, possibilita a importação de dados provindos de ficheiros .txt para o AutoCAD, o que com as devidas compatibilidades dos dados obtidos pelos programas elaborados, tornaria possível ou no mínimo facilitaria este processo. Este tema não foi abordado por requerer uma atenção suplementar, facto que conjugado com lista de prioridades para o tempo disponível para a elaboração desta tese, se mostrou excedentário.

Quanto à forma da passagem de um caudal instantâneo solitário para um caudal de cálculo, pode ser alvo de futura melhoria, caso se queira seguir com exactidão o RGSPDADAR (ver [Capítulo 8.1.](#))

## 8.2. PRP OPTIMIZADO VS. PROJECTO HABITUAL

De forma sucinta, e também com base no descrito no [Capítulo 7.2.](#), o processo otimizado tem consideráveis mais-valias em comparação com o processo habitual de dimensionamento hidráulico uma vez que reduz ao máximo o custo associado a um sistema de abastecimento de água. No entanto nem tudo são vantagens, uma vez que algumas simplificações têm de ser inseridas por forma a que o processo a otimizar resulte.

Quando associado um processo otimizado à automatização do critério decisório, este processo torna-se mais eficaz, uma vez que não há interferência do utilizador na decisão, pelo que o programa percorre todas as possibilidades na escolha da melhor opção.

Resumidamente, ponderar-se-ão algumas das vantagens e desvantagens destes dois processos:

Tabela 31 – PRP otimizado vs. Projecto habitual

PRP otimizado	Projecto habitual
✓ Integra a ferramenta de DAC eficazmente no seu processo.	✗ Não integra a ferramenta de DAC no seu processo.
✗ Mais lento no processo de decisão pelo facto de ter sido programado sob o VBA.	✓ Mais célere por estar sob uma plataforma de programação mais robusta.
✓ Integra os custos na sua abordagem de decisão.	✗ Não integra os custos.
✓ Possibilita uma optimização de raiz do traçado a implementar (PRP2).	✗ Apenas possibilita o dimensionamento de um traçado preconcebido.
✗ <i>Software</i> mais simples (simplicidade).	✓ <i>Software</i> mais robusto (complexidade).
✓ Possibilita a abordagem de malhas fechadas no processo decisório.	✗ Não permite malhas fechadas no seu cálculo.
✓ Acha um custo consideravelmente mais económico por percorrer todas as possibilidades de passagem do traçado.	✗ Custo dependente do traçado idealizado pelo Projectista, pelo que apenas dimensiona um traçado, que por si só, pode não ser o mais económico.

### **8.3. CONCLUSÕES FINAIS**

A problemática em torno deste tema torna-se complexa, especialmente quando se entram na abordagem de malhas fechada. Quanto a este tipo de malhas, há pouca bibliografia que consegue dar resposta ao casamento entre o Cálculo Hidráulico e a Teoria de Grafos / Teoria de Decisão.

Conclui-se também que a criação das Bases de Cálculo que serviram para comparação de resultados dos PRP's criados, assim como do *software* comercial estudado, foi criteriosa e útil, na medida em que procurava ser uma base que fosse flexível por intermédio da aplicação de especificidades nela que levassem a validar certos conceitos conceptuais patentes nos PRP's.

Quanto ao método proposto este revestiu-se de grande simplicidade e de funcionalidade, uma vez que as simples tarefas de exportação e importação de dados e execução da Macro foram fundamentais na obtenção dessas mais-valias. Mais concretamente quanto à integração de um programa de DAC com o programa de cálculo, conclui-se que com o método proposto se consegue colmatar uma lacuna existente neste momento nos *softwares* comerciais de dimensionamento, uma vez que nenhum deles integra o ficheiro de DAC provindo de plantas de Arquitectura / Estruturas de forma eficaz nos seus programas. Outra mais-valia residiu no facto de este PRP fazer integração de custos nos seus cálculos, coisa que comparativamente por exemplo ao *software* "Cype" não existe.

Já quanto aos PRP's, estes demonstraram serem robustos e fiáveis nos pressupostos para que foram criados, por meio da comparação com os *softwares* comerciais existentes no mercado. O PRP1 faz o dimensionamento hidráulico de forma correcta tendo incluída a mais valia de coligir em si a possibilidade de optimização das pressões, aumentando os diâmetros do caminho mais desfavorável. Já o PRP2 faz a escolha automática de um traçado de forma mais optimizada possível tendo como base o custo mínimo, dependente tanto do traçado como do dimensionamento hidráulico. Estas duas vertentes estão interligadas entre si, o que faz com que o processo de decisão com base em algoritmos seja um pouco pesado. Relativamente a este PRP2, conclui-se ainda que a análise da "Reversibilidade do Escoamento" está implantada de forma eficaz e eficiente, contribuindo significativamente para uma valorização do próprio programa por permitir uma análise exhaustiva dos caminhos possíveis de um escoamento a percorrer numa malha fechada.

No entanto verificou-se uma debilidade no que diz respeito ao resultado óptimo final, uma vez que não foi possível implementar a denominada "Iteração Intermédia", o que possibilitaria uma optimização estrondosa e muito eficaz. Outras questões pertinentes explanadas no Capítulo 8.1, na proposta de melhoria, ficaram também à margem desta tese, questões essas que podem ser aproveitadas em futuras abordagens ou melhoramento a este estudo desenvolvido.

## BIBLIOGRAFIA

- Abebe, Aj Aj; Solomatine, D. P. - *Application of global optimization to the design of pipe networks 1998*.
- Afshar, M. H. - Layout and size optimization of tree-like pipe networks by incremental solution building ants. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 35:2 (2008). p. 129-139.
- Antunes, C. H. Carlos Henggeler - *Casos de aplicação da investigação operacional*.
- Atassi, Amrou; Shadrake, Paul; Rago, Leonard - *Challenges and solutions for selecting an optimal water main route*. In: Chicago, IL, United States, 2006,
- Azevedo, C. A. Carlos A. Moreira - *Metodologia Científica*. 2003.
- Babayan, Artem V.; Savic, Dragan A.; Walters, Godfrey A. - MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM DESIGN UNDER UNCERTAIN DEMAND AND PIPE ROUGHNESS. p.
- Costa, A. L. H.; De Medeiros, J. L.; Pessoa, F. L. P. - Optimization of pipe networks including pumps by simulated annealing. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 17:4 (2000). p. 887-895.
- Cunha, Maria da Conceicao; Sousa, Joaquim - Water distribution network design optimization: simulated annealing approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 125:4 (1999). p. 215-221.
- Djebedjian, B.; Yaseen, A.; Rayan, M. A. - *A new adaptive penalty method for constrained genetic algorithm and its application to water distribution systems*. In: Proceedings of the Biennial International Pipeline Conference, IPC, Calgary, AB, 2007,
- Frada, J. J. João José Cúcio - *Guia prático para elaboração e apresentação de trabalhos científicos*. 2001.
- Gomasta, S. K.; Devi, R. - *Analysis and optimisation of pipe networks*. In: New Delhi, India, 1989,
- Hansen, C. T.; Madsen, K.; Nielsen, H. B. - Optimization of pipe networks. *Mathematical Programming*. 52:1-3 (1991). p. 45-58.
- Hillier, F. S. Frederick S. - *Introduction to operations research*. 2001.
- Ito, T. - A genetic algorithm approach to piping route path planning. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 10:1 (1999). p. 103-14.
- Kapelan, Z., et al. - Two new approaches for the stochastic least cost design of water distribution systems. *Water Science and Technology: Water Supply*. 4:5-6 (2004). p. 355-363.

- Lansley, Kevin E., et al. - Water distribution system design under uncertainties. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 115:5 (1989). p. 630-645.
- Lansley, Kevin E.; Mays, Larry W. - Optimization model for water distribution system design. *Journal of Hydraulic Engineering*. 115:10 (1990). p. 1401-1418.
- Liberatore, S.; Sechi, G. M.; Zuddas, P. - *Non linear optimization models in water resource systems*. 2006.
- Loureiro, H. Henrique - *Excel Macros & VBA*. 2005.
- Medeiros, Carlos Alberto Baptista - Apontamento de Aulas de Instalações de Edifícios. (2007). p.
- Nicolini, M. - *A two-level evolutionary approach to multi-criterion optimization of water supply systems*. 2005.
- Pedroso, V. M. Vítor M. Ramos - *Regras de dimensionamento dos sistemas prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais*. 1999.
- Ramón y Cajal, S. Santiago - *Advice for a Young Investigator*. 1999.
- Richert, H.; Gruhn, G. - A numeric-heuristic system for plant wide pipe routing. *Computers & Chemical Engineering*. 23:(1999). p. S735-S738.
- Satyanarayana, M. V. V., et al. - *An automated pipe-route planner in three dimensional plant layout design*. In: The Hague, Netherlands, 1992,
- Schmidt-Traub, H., et al. - Conceptual plant layout. *Computers & Chemical Engineering*. 22:(1998). p. S499-S504.
- Sherali, Hd Hd; Subramanian, S.; Loganathan, G. V. - Effective relaxations and partitioning schemes for solving water distribution network design problems to global optimality. *Journal of global optimization*. 19:1 (2001). p. 1-26.
- Silva, Fernando - Apontamentos da disciplina Estruturas de Dados e Algoritmos. (2006). p.
- Sousa, Joaquim José Oliveira; Cunha, Maria da Conceição M. O. - Dimensionamento otimizado de redes malhadas de distribuição de água. p.
- Suribabu, C. R.; Neelakantan, T. R. - Reliability based optimal design of water distribution networks by genetic algorithm. *Journal of Intelligent Systems*. 17:1-3 (2008). p. 143-156.
- Szwarcfiter, J. L. Jayme Luiz - *Grafos e algoritmos computacionais*.
- Tabesh, A.; Sheryl, Staub-French - Modeling and coordinating building systems in three dimensions: a case study. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 33:12 (2006). p. 1490-1504.
- Ulanicki, Bogumil; Kennedy, Paul Ritchie - *Optimization technique for water network operations and design*. In: Lake Buena Vista, FL, USA, 1994,
- Vairavamoorthy, Kalanithy; Ali, Mohammed - Pipe index vector: A method to improve genetic-algorithm-based pipe optimization. *Journal of Hydraulic Engineering*. 131:12 (2005). p. 1117-1125.
- Wada, Y., et al. - *A knowledge based approach to automated pipe-route planning in three-dimensional plant layout design*. In: Montreal, Que., Canada, 1985,





**ANEXOS**

## 10.1. DADOS NÃO TRATADOS ATRAVÉS DA EXPORTAÇÃO DO AUTOCAD

### 10.1.1. MALHA ABERTA: CENÁRIO A)

Anexo\_Tabela 1 – Malha Aberta: Cenário a) (1 em 2)

Count	Name	Angle	Author	Color	Comm	Delta X	Delta Y	Delta Z	Drawing	End X	End Y	End Z	File Access	File Created	File Last Sa	File Loc	File Modified	File Name	File Size
1	Line	90		ByLayer		0.0000	5.0000	0.0000		830.5126	631.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	180		ByLayer		-10.0000	0.0000	0.0000		830.5126	626.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	180		ByLayer		-8.0000	0.0000	0.0000		822.5126	626.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	270		ByLayer		0.0000	-5.0000	0.0000		830.5126	621.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	180		ByLayer		-10.0000	0.0000	0.0000		840.5126	626.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	90		ByLayer		0.0000	15.0000	0.0000		843.5126	614.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	0		ByLayer		10.0000	0.0000	0.0000		843.5126	599.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	90		ByLayer		0.0000	12.0000	0.0000		850.5126	626.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	0		ByLayer		7.0000	0.0000	0.0000		850.5126	614.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	180		ByLayer		-15.0000	0.0000	0.0000		815.5126	631.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Point			ByLayer									28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Point			ByLayer									28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Point			ByLayer									28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Point			ByLayer									28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Point			ByLayer									28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	90		ByLayer		0.0000	5.0000	0.0000		815.5126	641.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	90		ByLayer		0.0000	5.0000	0.0000		815.5126	636.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Point			ByLayer									28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968
1	Line	0		ByLayer		5.0000	0.0000	0.0000		820.5126	641.5598	0.0000	28-03-2008	25-03-2008	Antonio Brit	C:\Doct	28-03-2008	ProjectoFEU	67968

Anexo\_Tabela 2 – Malha Aberta: Genário a) (2 em 2)

Hyperli	Hyper	Keywor	Layer	Length	Linetype	Linetype	Lineweight	Material	Plot Style	Start X	Start Y	Start Z	Subje	Thickness	Title	Total E	Position X	Position Y	Position Z
			Tracado1	5.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	830.5126	626.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	10.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	840.5126	626.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	8.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	830.5126	626.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	5.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	830.5126	626.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	10.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	850.5126	626.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	15.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	843.5126	599.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	10.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	833.5126	599.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	12.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	850.5126	614.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	7.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	843.5126	614.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	15.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	830.5126	631.5598	0.0000		0.0000		177			
			Pontos		ByLayer	0.1500	ByLayer		ByLayer					0.0000		177	830.5126	621.5598	0.0000
			Pontos		ByLayer	0.1000	ByLayer		ByLayer					0.0000		177	822.5126	626.5598	0.0000
			Pontos		ByLayer	0.0000	ByLayer		ByLayer					0.0000		177	833.5126	599.5598	0.0000
			Pontos		ByLayer	0.1000	ByLayer		ByLayer					0.0000		177	840.5126	626.5598	0.0000
			Pontos		ByLayer	0.2500	ByLayer		ByLayer					0.0000		177	815.5126	636.5598	0.0000
			Tracado1	5.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	815.5126	636.5598	0.0000		0.0000		177			
			Tracado1	5.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	815.5126	631.5598	0.0000		0.0000		177			
			Pontos		ByLayer	0.1000	ByLayer		ByLayer					0.0000		177	820.5126	641.5598	0.0000
			Tracado1	5.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	815.5126	641.5598	0.0000		0.0000		177			

Podem-se verificar pelos quadros acima, que os débitos foram inseridos no AutoCAD no parâmetro referente à coluna LineType Scale.

10.1.2. MALHA FECHADA: CENÁRIO B)

Anexo\_Tabela 3 – Malha Fechada: Cenário b) (1 em 2)

Count	Name	Angle	Auth	Color	Comm	Delta X	Delta Y	Delta Z	Drawin	End X	End Y	End Z	File Access	File Created	File Last	File L	File Modified	File Name	File Size
1	Line	180		ByLayer		-3.0000	0.0000	0.0000		2065.05	1302.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	180		ByLayer		-6.0000	0.0000	0.0000		2068.05	1302.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	90		ByLayer		0.0000	7.0000	0.0000		2068.05	1309.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	270		ByLayer		0.0000	-2.0000	0.0000		2065.05	1300.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	90		ByLayer		0.0000	2.0000	0.0000		2075.05	1302.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	0		ByLayer		10.0000	0.0000	0.0000		2075.05	1300.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	180		ByLayer		-0.5000	0.0000	0.0000		2074.05	1302.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	180		ByLayer		-0.5000	0.0000	0.0000		2074.55	1302.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	90		ByLayer		0.0000	4.0000	0.0000		2074.05	1306.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	0		ByLayer		15.0000	0.0000	0.0000		2090.05	1300.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Point			ByLayer									15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Point			ByLayer									15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Line	90		ByLayer		0.0000	10.0000	0.0000		2090.05	1310.70	0.0000	15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Point			ByLayer									15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Point			ByLayer									15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Point			ByLayer									15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760
1	Point			ByLayer									15-05-2008	15-05-2008	Antonio B	C:\Do	15-05-2008	Ex2simple	61760

Anexo\_Tabela 4 – Malha Fechada: Cenário b) (2 em 2)

Hyper	Hyper	Keyw	Layer	Length	Linetype	Linetype	Lineweig	Material	Plot Styl	Start X	Start Y	Start Z	Subj	Thickness	Title	Total	Position X	Position Y	Position Z
			0	3.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2068.05	1302.70	0.0000		0.0000		8			
			0	6.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2074.05	1302.70	0.0000		0.0000		8			
			0	7.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2068.05	1302.70	0.0000		0.0000		8			
			0	2.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2065.05	1302.70	0.0000		0.0000		8			
			0	2.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2075.05	1300.70	0.0000		0.0000		8			
			0	10.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2065.05	1300.70	0.0000		0.0000		8			
			0	0.5000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2074.55	1302.70	0.0000		0.0000		8			
			0	0.5000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2075.05	1302.70	0.0000		0.0000		8			
			0	4.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2074.05	1302.70	0.0000		0.0000		8			
			0	15.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2075.05	1300.70	0.0000		0.0000		8			
			0		ByLayer	0.0000	ByLayer		ByLayer					0.0000		8	2065.0592	1300.7068	0.0000
			0		ByLayer	0.2500	ByLayer		ByLayer					0.0000		8	2090.0592	1310.7068	0.0000
			0	10.0000	ByLayer	1.0000	ByLayer	ByLayer	ByLayer	2090.05	1300.70	0.0000		0.0000		8			
			0		ByLayer	0.2000	ByLayer		ByLayer					0.0000		8	2074.0592	1306.7068	0.0000
			0		ByLayer	0.1000	ByLayer		ByLayer					0.0000		8	2068.0592	1309.7068	0.0000
			0		ByLayer	0.1700	ByLayer		ByLayer					0.0000		8	2075.0592	1300.7068	0.0000
			0		ByLayer	0.1500	ByLayer		ByLayer					0.0000		8	2074.5592	1302.7068	0.0000

Podem-se verificar pelos quadros acima, que os débitos foram inseridos no AutoCAD no parâmetro referente à coluna LineType Scale.

## 10.2. RESULTADOS GLOBAIS

### 10.2.1. PROGRAMA 1

#### 10.2.1.1. Situação 1.a)

Anexo\_Tabela 5 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.a (1 em 3)

Count	Name	Angle	Delta X	Delta Y	Delta Z	End X	End Y	End Z	Length	Start X	Start Y	Start Z	INICIO X	INICIO Y	INICIO Z	FINAL X	FINAL Y	FINAL Z
3	Line	180	-8	0	0	822.5126	626.5598	0	8	830.5126	626.5598	0	822.513	626.56		830.513	626.56	
4	Line	270	0	-5	0	830.5126	621.5598	0	5	830.5126	626.5598	0	830.513	621.56		830.513	626.56	
13	Line	0	5	0	0	820.5126	641.5598	0	5	815.5126	641.5598	0	820.513	641.56		815.513	641.56	
11	Line	90	0	5	0	815.5126	641.5598	0	5	815.5126	636.5598	0	815.513	641.56		815.513	636.56	
12	Line	90	0	5	0	815.5126	636.5598	0	5	815.5126	631.5598	0	815.513	636.56		815.513	631.56	
10	Line	180	-15	0	0	815.5126	631.5598	0	15	830.5126	631.5598	0	815.513	631.56		830.513	631.56	
1	Line	90	0	5	0	830.5126	631.5598	0	5	830.5126	626.5598	0	830.513	631.56		830.513	626.56	
2	Line	180	-10	0	0	830.5126	626.5598	0	10	840.5126	626.5598	0	830.513	626.56		840.513	626.56	
5	Line	180	-10	0	0	840.5126	626.5598	0	10	850.5126	626.5598	0	840.513	626.56		850.513	626.56	
8	Line	90	0	12	0	850.5126	626.5598	0	12	850.5126	614.5598	0	850.513	626.56		850.513	614.56	
9	Line	0	7	0	0	850.5126	614.5598	0	7	843.5126	614.5598	0	850.513	614.56		843.513	614.56	
6	Line	90	0	15	0	843.5126	614.5598	0	15	843.5126	599.5598	0	843.513	614.56		843.513	599.56	
7	Line	0	10	0	0	843.5126	599.5598	0	10	833.5126	599.5598	0	843.513	599.56		833.513	599.56	

Anexo\_Tabela 6 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.a (2 em 3)

Count	Name	K (mm/mm)	coef vis m2/s	Caudal	Qcalc [l/s]	Qcalc [m3/s]	Veloc.[m/s]	vel max	Diam nom	Diam int	Diam teorico	preco /m	preco total	L vertical	L horiz.
3	Line	0.007	1.01E-06	0.1	<b>0.1676</b>	<b>0.0002</b>	1.2245	1.8000	20.0000	13.2000	10.8874	1.1600	9.2800		8.0000
4	Line	0.007	1.01E-06	0.15	<b>0.2064</b>	<b>0.0002</b>	1.5081	1.8000	20.0000	13.2000	12.0824	1.1600	5.8000		5.0000
13	Line	0.007	1.01E-06	0.1	<b>0.1676</b>	<b>0.0002</b>	1.2245	1.8000	20.0000	13.2000	10.8874	1.1600	5.8000		5.0000
11	Line	0.007	1.01E-06	0.1	<b>0.1676</b>	<b>0.0002</b>	1.2245	1.8000	20.0000	13.2000	10.8874	1.1600	5.8000		5.0000
12	Line	0.007	1.01E-06	0.35	<b>0.3189</b>	<b>0.0003</b>	1.4736	1.8000	25.0000	16.6000	15.0199	1.7600	8.8000		5.0000
10	Line	0.007	1.01E-06	0.35	<b>0.3189</b>	<b>0.0003</b>	1.4736	1.8000	25.0000	16.6000	15.0199	1.7600	26.4000		15.0000
1	Line	0.007	1.01E-06	0.35	<b>0.3189</b>	<b>0.0003</b>	1.4736	1.8000	25.0000	16.6000	15.0199	1.7600	8.8000		5.0000
2	Line	0.007	1.01E-06	0.6	<b>0.4207</b>	<b>0.0004</b>	1.1917	1.8000	32.0000	21.2000	17.2501	2.8900	28.9000		10.0000
5	Line	0.007	1.01E-06	0.7	<b>0.4553</b>	<b>0.0005</b>	1.2900	1.8000	32.0000	21.2000	17.9468	2.8900	28.9000		10.0000
8	Line	0.007	1.01E-06	0.7	<b>0.4553</b>	<b>0.0005</b>	1.2900	1.8000	32.0000	21.2000	17.9468	2.8900	34.6800		12.0000
9	Line	0.007	1.01E-06	0.7	<b>0.4553</b>	<b>0.0005</b>	1.2900	1.8000	32.0000	21.2000	17.9468	2.8900	20.2300		7.0000
6	Line	0.007	1.01E-06	0.7	<b>0.4553</b>	<b>0.0005</b>	1.2900	1.8000	32.0000	21.2000	17.9468	2.8900	43.3500		15.0000
7	Line	0.007	1.01E-06	0.7	<b>0.4553</b>	<b>0.0005</b>	1.2900	1.8000	32.0000	21.2000	17.9468	2.8900	28.9000		10.0000

Preço Total: 255.6400

Anexo\_Tabela 7 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.a (3 em 3)

Count	Name	j	j n+1	j n+2	j n+3	j n+4	j n+5	j n+6	j n+7	j n+8	j n+9	j n+10	j	1,20*j*L	Js	Jtotal	Hm	Hmj	Ligações
3	Line	1	0.134264	0.168536	0.163694	0.164299	0.164222	0.164232	0.16423	0.164231	0.164231	0.164231	0.1642	1.5766		1.5766	1.5766	9.0651	9
4	Line	1	0.203646	0.242489	0.237389	0.237998	0.237924	0.237933	0.237932	0.237932	0.237932	0.237932	0.2379	1.4276		1.4276	1.4276	8.9160	9
13	Line	1	0.134264	0.168536	0.163694	0.164299	0.164222	0.164232	0.16423	0.164231	0.164231	0.164231	0.1642	0.9854		0.9854	0.9854	<b>14.5999</b>	5
11	Line	1	0.134264	0.168536	0.163694	0.164299	0.164222	0.164232	0.16423	0.164231	0.164231	0.164231	0.1642	0.9854		0.9854	0.9854	13.6145	6
12	Line	1	0.142646	0.175162	0.17091	0.171408	0.171349	0.171356	0.171355	0.171355	0.171355	0.171355	0.1714	1.0281		1.0281	1.0281	12.6291	7
10	Line	1	0.142646	0.175162	0.17091	0.171408	0.171349	0.171356	0.171355	0.171355	0.171355	0.171355	0.1714	3.0844		3.0844	3.0844	11.6010	8
1	Line	1	0.142646	0.175162	0.17091	0.171408	0.171349	0.171356	0.171355	0.171355	0.171355	0.171355	0.1714	1.0281		1.0281	1.0281	8.5166	9
2	Line	1	0.067309	0.089127	0.086109	0.086468	0.086425	0.08643	0.086429	0.086429	0.086429	0.086429	0.0864	1.0372		1.0372	1.0372	7.4884	10
5	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	1.1947		1.1947	1.1947	6.4513	11
8	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	1.4336		1.4336	1.4336	5.2566	12
9	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	0.8363		0.8363	0.8363	3.8230	13
6	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	1.7920		1.7920	1.7920	2.9867	14
7	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	1.1947		1.1947	1.1947	1.1947	

10.2.1.2. Situação 1.b)

Anexo\_Tabela 8 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.b (1 em 3)

Count	Name	Angle	Delta X	Delta Y	Delta Z	End X	End Y	End Z	Length	Start X	Start Y	Start Z	INICIO X	INICIO Y	INICIO Z	FINAL X	FINAL Y	FINAL Z
3	Line	180	-8	0	0	822.5126	626.5598	0	8	830.5126	626.5598	0	822.513	626.56		830.513	626.56	
4	Line	270	0	-5	0	830.5126	621.5598	0	5	830.5126	626.5598	0	830.513	621.56		830.513	626.56	
13	Line	0	5	0	0	820.5126	641.5598	0	5	815.5126	641.5598	0	820.513	641.56		815.513	641.56	
11	Line	90	0	5	0	815.5126	641.5598	0	5	815.5126	636.5598	0	815.513	641.56		815.513	636.56	
12	Line	90	0	5	0	815.5126	636.5598	0	5	815.5126	631.5598	0	815.513	636.56		815.513	631.56	
10	Line	180	-15	0	0	815.5126	631.5598	0	15	830.5126	631.5598	0	815.513	631.56		830.513	631.56	
1	Line	90	0	5	0	830.5126	631.5598	0	5	830.5126	626.5598	0	830.513	631.56		830.513	626.56	
2	Line	180	-10	0	0	830.5126	626.5598	0	10	840.5126	626.5598	0	830.513	626.56		840.513	626.56	
5	Line	180	-10	0	0	840.5126	626.5598	0	10	850.5126	626.5598	0	840.513	626.56		850.513	626.56	
8	Line	90	0	12	0	850.5126	626.5598	0	12	850.5126	614.5598	0	850.513	626.56		850.513	614.56	
9	Line	0	7	0	0	850.5126	614.5598	0	7	843.5126	614.5598	0	850.513	614.56		843.513	614.56	
6	Line	90	0	15	0	843.5126	614.5598	0	15	843.5126	599.5598	0	843.513	614.56		843.513	599.56	
7	Line	0	10	0	0	843.5126	599.5598	0	10	833.5126	599.5598	0	843.513	599.56		833.513	599.56	

Anexo\_Tabela 9 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.b (2 em 3)

Count	Name	K (mm/mm)	cof vis m2/s	Caudal	Qcalc [l/s]	Qcalc [m3/s]	Veloc.[m/s]	vel max	Diam nom	Diam int	Diam teorico	preco /m	preco total	L vertical	L horiz.
3	Line	0.007	1.01E-06	0.1	0.1676	0.0002	1.2245	1.5000	20.0000	13.2000	11.9265	1.1600	9.2800		8.0000
4	Line	0.007	1.01E-06	0.15	0.2064	0.0002	0.9536	1.5000	25.0000	16.6000	13.2356	1.7600	8.8000		5.0000
13	Line	0.007	1.01E-06	0.1	0.1676	0.0002	1.2245	1.5000	20.0000	13.2000	11.9265	1.1600	5.8000		5.0000
11	Line	0.007	1.01E-06	0.1	0.1676	0.0002	1.2245	1.5000	20.0000	13.2000	11.9265	1.1600	5.8000		5.0000
12	Line	0.007	1.01E-06	0.35	0.3189	0.0003	1.4736	1.5000	25.0000	16.6000	16.4535	1.7600	8.8000		5.0000
10	Line	0.007	1.01E-06	0.35	0.3189	0.0003	1.4736	1.5000	25.0000	16.6000	16.4535	1.7600	26.4000		15.0000
1	Line	0.007	1.01E-06	0.35	0.3189	0.0003	1.4736	1.5000	25.0000	16.6000	16.4535	1.7600	8.8000		5.0000
2	Line	0.007	1.01E-06	0.6	0.4207	0.0004	1.1917	1.5000	32.0000	21.2000	18.8965	2.8900	28.9000		10.0000
5	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	1.2900	1.5000	32.0000	21.2000	19.6597	2.8900	28.9000		10.0000
8	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	1.2900	1.5000	32.0000	21.2000	19.6597	2.8900	34.6800		12.0000
9	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	1.2900	1.5000	32.0000	21.2000	19.6597	2.8900	20.2300		7.0000
6	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	1.2900	1.5000	32.0000	21.2000	19.6597	2.8900	43.3500		15.0000
7	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	1.2900	1.5000	32.0000	21.2000	19.6597	2.8900	28.9000		10.0000

Preço Total: 258.6400

Anexo\_Tabela 10 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.b (3 em 3)

Count	Name	j	j n+1	j n+2	j n+3	j n+4	j n+5	j n+6	j n+7	j n+8	j n+9	j n+10	j	1,20*j*L	Js	Jtotal	Hm	Hmj	Ligações
3	Line	1	0.134264	0.168536	0.163694	0.164299	0.164222	0.164232	0.16423	0.164231	0.164231	0.164231	0.1642	1.5766		1.5766	1.5766	9.0651	9
4	Line	1	0.059731	0.081997	0.078629	0.07906	0.079003	0.079011	0.07901	0.07901	0.07901	0.07901	0.0790	0.4741		0.4741	0.4741	7.9625	9
13	Line	1	0.134264	0.168536	0.163694	0.164299	0.164222	0.164232	0.16423	0.164231	0.164231	0.164231	0.1642	0.9854		0.9854	0.9854	14.5999	5
11	Line	1	0.134264	0.168536	0.163694	0.164299	0.164222	0.164232	0.16423	0.164231	0.164231	0.164231	0.1642	0.9854		0.9854	0.9854	13.6145	6
12	Line	1	0.142646	0.175162	0.17091	0.171408	0.171349	0.171356	0.171355	0.171355	0.171355	0.171355	0.1714	1.0281		1.0281	1.0281	12.6291	7
10	Line	1	0.142646	0.175162	0.17091	0.171408	0.171349	0.171356	0.171355	0.171355	0.171355	0.171355	0.1714	3.0844		3.0844	3.0844	11.6010	8
1	Line	1	0.142646	0.175162	0.17091	0.171408	0.171349	0.171356	0.171355	0.171355	0.171355	0.171355	0.1714	1.0281		1.0281	1.0281	8.5166	9
2	Line	1	0.067309	0.089127	0.086109	0.086468	0.086425	0.08643	0.086429	0.086429	0.086429	0.086429	0.0864	1.0372		1.0372	1.0372	7.4884	10
5	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	1.1947		1.1947	1.1947	6.4513	11
8	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	1.4336		1.4336	1.4336	5.2566	12
9	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	0.8363		0.8363	0.8363	3.8230	13
6	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	1.7920		1.7920	1.7920	2.9867	14
7	Line	1	0.07886	0.102397	0.099225	0.099597	0.099552	0.099558	0.099557	0.099557	0.099557	0.099557	0.0996	1.1947		1.1947	1.1947	1.1947	

10.2.1.3. Situação 1.c)

Anexo\_Tabela 11 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.c (1 em 3)

Count	Name	Angle	Delta X	Delta Y	Delta Z	End X	End Y	End Z	Length	Start X	Start Y	Start Z	INICIO X	INICIO Y	INICIO Z	FINAL X	FINAL Y	FINAL Z
3	Line	180	-8	0	0	822.5126	626.5598	0	8	830.5126	626.5598	0	822.513	626.56		830.513	626.56	
4	Line	270	0	-5	0	830.5126	621.5598	0	5	830.5126	626.5598	0	830.513	621.56		830.513	626.56	
13	Line	0	5	0	0	820.5126	641.5598	0	5	815.5126	641.5598	0	820.513	641.56		815.513	641.56	
11	Line	90	0	5	0	815.5126	641.5598	0	5	815.5126	636.5598	0	815.513	641.56		815.513	636.56	
12	Line	90	0	5	0	815.5126	636.5598	0	5	815.5126	631.5598	0	815.513	636.56		815.513	631.56	
10	Line	180	-15	0	0	815.5126	631.5598	0	15	830.5126	631.5598	0	815.513	631.56		830.513	631.56	
1	Line	90	0	5	0	830.5126	631.5598	0	5	830.5126	626.5598	0	830.513	631.56		830.513	626.56	
2	Line	180	-10	0	0	830.5126	626.5598	0	10	840.5126	626.5598	0	830.513	626.56		840.513	626.56	
5	Line	180	-10	0	0	840.5126	626.5598	0	10	850.5126	626.5598	0	840.513	626.56		850.513	626.56	
8	Line	90	0	12	0	850.5126	626.5598	0	12	850.5126	614.5598	0	850.513	626.56		850.513	614.56	
9	Line	0	7	0	0	850.5126	614.5598	0	7	843.5126	614.5598	0	850.513	614.56		843.513	614.56	
6	Line	90	0	15	0	843.5126	614.5598	0	15	843.5126	599.5598	0	843.513	614.56		843.513	599.56	
7	Line	0	10	0	0	843.5126	599.5598	0	10	833.5126	599.5598	0	843.513	599.56		833.513	599.56	

Anexo\_Tabela 12 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.c (2 em 3)

Count	Name	K (mm/mm)	cof vis m2/s	Caudal	Qcalc [l/s]	Qcalc [m3/s]	Veloc.[m/s]	vel max	Diam nom	Diam int	Diam teorico	preco /m	preco total	L vertical	L horiz.
3	Line	0.007	1.01E-06	0.1	0.1676	0.0002	1.2245	1.8000	20.0000	13.2000	10.8874	1.1600	9.2800		8.0000
4	Line	0.007	1.01E-06	0.15	0.2064	0.0002	1.5081	1.8000	20.0000	13.2000	12.0824	1.1600	5.8000		5.0000
13	Line	0.007	1.01E-06	0.1	0.1676	0.0002	0.7743	1.8000	25.0000	16.6000	10.8874	1.7600	8.8000		5.0000
11	Line	0.007	1.01E-06	0.1	0.1676	0.0002	0.7743	1.8000	25.0000	16.6000	10.8874	1.7600	8.8000		5.0000
12	Line	0.007	1.01E-06	0.35	0.3189	0.0003	0.9035	1.8000	32.0000	21.2000	15.0199	2.8900	14.4500		5.0000
10	Line	0.007	1.01E-06	0.35	0.3189	0.0003	0.9035	1.8000	32.0000	21.2000	15.0199	2.8900	43.3500		15.0000
1	Line	0.007	1.01E-06	0.35	0.3189	0.0003	0.9035	1.8000	32.0000	21.2000	15.0199	2.8900	14.4500		5.0000
2	Line	0.007	1.01E-06	0.6	0.4207	0.0004	0.7570	1.8000	40.0000	26.6000	17.2501	4.7400	47.4000		10.0000
5	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	0.8194	1.8000	40.0000	26.6000	17.9468	4.7400	47.4000		10.0000
8	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	0.8194	1.8000	40.0000	26.6000	17.9468	4.7400	56.8800		12.0000
9	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	0.8194	1.8000	40.0000	26.6000	17.9468	4.7400	33.1800		7.0000
6	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	0.8194	1.8000	40.0000	26.6000	17.9468	4.7400	71.1000		15.0000
7	Line	0.007	1.01E-06	0.7	0.4553	0.0005	0.8194	1.8000	40.0000	26.6000	17.9468	4.7400	47.4000		10.0000

Preço Total: 408.2900

Anexo\_Tabela 13 – Resultados Finais – PRP1 – Situação 1.c (3 em 3)

Count	Name	j	j n+1	j n+2	j n+3	j n+4	j n+5	j n+6	j n+7	j n+8	j n+9	j n+10	j	1,20*j*L	Js	Jtotal	Hm	Hmj	Ligações
3	Line	1	0.1342638	0.1685355	0.1636937	0.1642988	0.164222	0.1642317	0.1642305	0.1642306	0.1642306	0.1642306	0.1642	1.5766		1.5766	1.5766	4.0926	9
4	Line	1	0.2036456	0.2424895	0.2373892	0.237998	0.2379245	0.2379333	0.2379323	0.2379324	0.2379324	0.2379324	0.2379	1.4276		1.4276	1.4276	3.9435	9
13	Line	1	0.0393807	0.0572604	0.0543702	0.0547541	0.0547017	0.0547088	0.0547079	0.054708	0.054708	0.054708	0.0547	0.3282		0.3282	0.3282	4.7572	5
11	Line	1	0.0393807	0.0572604	0.0543702	0.0547541	0.0547017	0.0547088	0.0547079	0.054708	0.054708	0.054708	0.0547	0.3282		0.3282	0.3282	4.4289	6
12	Line	1	0.0386881	0.0550158	0.0525492	0.0528588	0.052819	0.0528241	0.0528234	0.0528235	0.0528235	0.0528235	0.0528	0.3169		0.3169	0.3169	4.1007	7
10	Line	1	0.0386881	0.0550158	0.0525492	0.0528588	0.052819	0.0528241	0.0528234	0.0528235	0.0528235	0.0528235	0.0528	0.9508		0.9508	0.9508	3.7837	8
1	Line	1	0.0386881	0.0550158	0.0525492	0.0528588	0.052819	0.0528241	0.0528234	0.0528235	0.0528235	0.0528235	0.0528	0.3169		0.3169	0.3169	2.8329	9
2	Line	1	0.0201337	0.0305076	0.0288836	0.0290884	0.0290618	0.0290652	0.0290648	0.0290648	0.0290648	0.0290648	0.0291	0.3488		0.3488	0.3488	2.5160	10
5	Line	1	0.0235887	0.0349956	0.0332518	0.0334687	0.033441	0.0334445	0.033444	0.0334441	0.0334441	0.0334441	0.0334	0.4013		0.4013	0.4013	2.1672	11
8	Line	1	0.0235887	0.0349956	0.0332518	0.0334687	0.033441	0.0334445	0.033444	0.0334441	0.0334441	0.0334441	0.0334	0.4816		0.4816	0.4816	1.7658	12
9	Line	1	0.0235887	0.0349956	0.0332518	0.0334687	0.033441	0.0334445	0.033444	0.0334441	0.0334441	0.0334441	0.0334	0.2809		0.2809	0.2809	1.2843	13
6	Line	1	0.0235887	0.0349956	0.0332518	0.0334687	0.033441	0.0334445	0.033444	0.0334441	0.0334441	0.0334441	0.0334	0.6020		0.6020	0.6020	1.0033	14
7	Line	1	0.0235887	0.0349956	0.0332518	0.0334687	0.033441	0.0334445	0.033444	0.0334441	0.0334441	0.0334441	0.0334	0.4013		0.4013	0.4013	0.4013	

10.2.2. PROGRAMA 2

10.2.2.1. Situação 2.a)

**Matriz Trajectos**

Anexo\_Tabela 14 – Resultados Finais. Matriz Trajectos – PRP2 – Situação 2.a

ID	Xi	Yi	Zi	pto1	Xf	Yf	Zf	pto2	L	Qa	Qc	V_real	diam_n	diam_in	preco_por	preco_td	j	1.2j	Qtos p.p	pto1.	pto2.	pto3.
1	2068.059	1302.707	0	10001	2065.059	1302.707	0	10003	3	0.3	0.00029	1.36144	25	16.6	1.76	5.28	0.15	0.178	2	2	5	
2	2074.059	1302.707	0	10002	2068.059	1302.707	0	10001	6	0.2	0.00024	1.74827	20	13.2	1.16	6.96	0.31	0.372	1	5		
3	2068.059	1302.707	0	10001	2068.059	1309.707	0	2	7										0			
4	2065.059	1302.707	0	10003	2065.059	1300.707	0	1	2	0.3	0.00029	1.36144	25	16.6	1.76	3.52	0.15	0.178	2	2	5	
5	2075.059	1300.707	0	4	2075.059	1302.707	0	10007	2										0			
6	2065.059	1300.707	0	1	2075.059	1300.707	0	4	10										0			
7	2074.559	1302.707	0	3	2074.059	1302.707	0	10002	0.5										0			
8	2075.059	1302.707	0	10007	2074.559	1302.707	0	3	0.5										0			
9	2074.059	1302.707	0	10002	2074.059	1306.707	0	5	4										0			
10	2075.059	1300.707	0	4	2090.059	1300.707	0	10008	15										0			
11	2090.059	1300.707	0	10008	2090.059	1310.707	0	6	10										0			
12	2065.059	1302.707	0	10003	2068.059	1302.707	0	10001	3										0			
13	2068.059	1302.707	0	10001	2074.059	1302.707	0	10002	6										0			
14	2068.059	1309.707	0	2	2068.059	1302.707	0	10001	7	0.1	0.00017	1.22453	20	13.2	1.16	8.12	0.16	0.197	1	2		
15	2065.059	1300.707	0	1	2065.059	1302.707	0	10003	2										0			
16	2075.059	1302.707	0	10007	2075.059	1300.707	0	4	2	0.15	0.00021	1.50809	20	13.2	1.16	2.32	0.24	0.286	1	3		
17	2075.059	1300.707	0	4	2065.059	1300.707	0	1	10	0.57	0.00041	1.16075	32	21.2	2.89	28.9	0.08	0.099	3	4	3	6
18	2074.059	1302.707	0	10002	2074.559	1302.707	0	3	0.5										0			
19	2074.559	1302.707	0	3	2075.059	1302.707	0	10007	0.5	0.15	0.00021	1.50809	20	13.2	1.16	0.58	0.24	0.286	1	3		
20	2074.059	1306.707	0	5	2074.059	1302.707	0	10002	4	0.2	0.00024	1.74827	20	13.2	1.16	4.64	0.31	0.372	1	5		
21	2090.059	1300.707	0	10008	2075.059	1300.707	0	4	15	0.25	0.00027	1.23972	25	16.6	1.76	26.4	0.13	0.151	1	6		
22	2090.059	1310.707	0	6	2090.059	1300.707	0	10008	10	0.25	0.00027	1.23972	25	16.6	1.76	17.6	0.13	0.151	1	6		

10.2.2.2. Situação 2.b)

**Matriz Trajectos**

Anexo\_Tabela 15 – Resultados Finais. Matriz Trajectos – PRP2 – Situação 2.b

ID	Xi	Yi	Zi	pto1	Xf	Yf	Zf	pto2	L	Qa	Qc	V_real	diam_n	diam_in	preco_por	preco_tot	j	1.2j	Qtos p.p	pto1.	pto2.	pto3.	pto4.
1	2068.059	1302.707	0	10001	2065.059	1302.707	0	10003	3	0.0001	4.8E-06	0.05463	16	10.6	0.91	2.73	0	0.001	1	4			
2	2074.059	1302.707	0	10002	2068.059	1302.707	0	10001	6										0				
3	2068.059	1302.707	0	10001	2068.059	1309.707	0	4	7										0				
4	2065.059	1302.707	0	10003	2065.059	1300.707	0	1	2	0.0001	4.8E-06	0.05463	16	10.6	0.91	1.82	0	0.001	1	4			
5	2075.059	1300.707	0	5	2075.059	1302.707	0	10007	2										0				
6	2065.059	1300.707	0	1	2075.059	1300.707	0	5	10										0				
7	2074.559	1302.707	0	6	2074.059	1302.707	0	10002	0.5										0				
8	2075.059	1302.707	0	10007	2074.559	1302.707	0	6	0.5										0				
9	2074.059	1302.707	0	10002	2074.059	1306.707	0	3	4										0				
10	2075.059	1300.707	0	5	2090.059	1300.707	0	10008	15										0				
11	2090.059	1300.707	0	10008	2090.059	1310.707	0	2	10										0				
12	2065.059	1302.707	0	10003	2068.059	1302.707	0	10001	3										0				
13	2068.059	1302.707	0	10001	2074.059	1302.707	0	10002	6										0				
14	2068.059	1309.707	0	4	2068.059	1302.707	0	10001	7	0.0001	4.8E-06	0.05463	16	10.6	0.91	6.37	0	0.001	1	4			
15	2065.059	1300.707	0	1	2065.059	1302.707	0	10003	2										0				
16	2075.059	1302.707	0	10007	2075.059	1300.707	0	5	2	0.0002	6.9E-06	0.07799	16	10.6	0.91	1.82	0	0.002	2	6	3		
17	2075.059	1300.707	0	5	2065.059	1300.707	0	1	10	0.0004	9.8E-06	0.11135	16	10.6	0.91	9.1	0	0.004	4	5	6	3	2
18	2074.059	1302.707	0	10002	2074.559	1302.707	0	6	0.5	0.0001	4.8E-06	0.05463	16	10.6	0.91	0.455	0	0.001	1	3			
19	2074.559	1302.707	0	6	2075.059	1302.707	0	10007	0.5	0.0002	6.9E-06	0.07799	16	10.6	0.91	0.455	0	0.002	2	6	3		
20	2074.059	1306.707	0	3	2074.059	1302.707	0	10002	4	0.0001	4.8E-06	0.05463	16	10.6	0.91	3.64	0	0.001	1	3			
21	2090.059	1300.707	0	10008	2075.059	1300.707	0	5	15	0.0001	4.8E-06	0.05463	16	10.6	0.91	13.65	0	0.001	1	2			
22	2090.059	1310.707	0	2	2090.059	1300.707	0	10008	10	0.0001	4.8E-06	0.05463	16	10.6	0.91	9.1	0	0.001	1	2			

10.2.2.3. Situação 2.c)

Matriz Trajectos

Anexo Tabela 16 – Resultados Finais. Matriz Trajectos – PRP2 – Situação 2.c

ID	Xi	Yi	Zi	pto1	Xf	Yf	Zf	pto2	L	Qa	Qc	V. real	diam_n	diam_in	preco_por	preco_td	j	1.2j	Qtos p.p	pto1.	pto2.	pto3.	pto4..
1	2068.059	1302.707	0	10001	2065.059	1302.707	0	10003	3	0.1200	0.00018	1.34476	20	13.2	101.16	303.48	0.19	0.233	4	4	6	3	2
2	2074.059	1302.707	0	10002	2068.059	1302.707	0	10001	6	0.0900	0.00016	1.79887	16	10.6	0.91	5.46	0.43	0.515	3	6	3	2	
3	2068.059	1302.707	0	10001	2068.059	1309.707	0	4	7										0				
4	2065.059	1302.707	0	10003	2065.059	1300.707	0	1	2	0.1200	0.00018	1.34476	20	13.2	101.16	202.32	0.19	0.233	4	4	6	3	2
5	2075.059	1300.707	0	5	2075.059	1302.707	0	10007	2	0.0300	9E-05	1.02307	16	10.6	0.91	1.82	0.16	0.189	1	2			
6	2065.059	1300.707	0	1	2075.059	1300.707	0	5	10										0				
7	2074.559	1302.707	0	6	2074.059	1302.707	0	10002	0.5	0.0600	0.00013	1.46064	16	10.6	0.91	0.455	0.3	0.355	2	6	2		
8	2075.059	1302.707	0	10007	2074.559	1302.707	0	6	0.5	0.0300	9E-05	1.02307	16	10.6	0.91	0.455	0.16	0.189	1	2			
9	2074.059	1302.707	0	10002	2074.059	1306.707	0	3	4										0				
10	2075.059	1300.707	0	5	2090.059	1300.707	0	10008	15										0				
11	2090.059	1300.707	0	10008	2090.059	1310.707	0	2	10										0				
12	2065.059	1302.707	0	10003	2068.059	1302.707	0	10001	3										0				
13	2068.059	1302.707	0	10001	2074.059	1302.707	0	10002	6										0				
14	2068.059	1309.707	0	4	2068.059	1302.707	0	10001	7	0.0300	9E-05	1.02307	16	10.6	0.91	6.37	0.16	0.189	1	4			
15	2065.059	1300.707	0	1	2065.059	1302.707	0	10003	2										0				
16	2075.059	1302.707	0	10007	2075.059	1300.707	0	5	2														
17	2075.059	1300.707	0	5	2065.059	1300.707	0	1	10	0.0300	9E-05	1.02307	16	10.6	0.91	9.1	0.16	0.189	1	5			
18	2074.059	1302.707	0	10002	2074.559	1302.707	0	6	0.5														
19	2074.559	1302.707	0	6	2075.059	1302.707	0	10007	0.5														
20	2074.059	1306.707	0	3	2074.059	1302.707	0	10002	4	0.0300	9E-05	1.02307	16	10.6	0.91	3.64	0.16	0.189	1	3			
21	2090.059	1300.707	0	10008	2075.059	1300.707	0	5	15	0.0300	9E-05	1.02307	16	10.6	0.91	13.65	0.16	0.189	1	2			
22	2090.059	1310.707	0	2	2090.059	1300.707	0	10008	10	0.0300	9E-05	1.02307	16	10.6	0.91	9.1	0.16	0.189	1	2			

## **10.3. RESULTADOS GLOBAIS DO SOFTWARE “CYPE”**

### **10.3.1. “CYPE” COM CENÁRIO A)**

#### **Listagem**

Nome da Obra: ProjectoFEUP

Data: 12/06/08

Tese De Mestrado\_ Antonio Brito

#### ÍNDICE

- 1.- DADOS DE GRUPOS E PLANTAS
- 2.- DADOS DE OBRA
- 3.- BIBLIOTECAS
- 4.- TUBAGENS
- 5.- NÓS
- 6.- MEDIÇÃO
  - 6.1.- Colunas montantes
  - 6.2.- Grupos
  - 6.3.- Totais

## Listagem

Nome da Obra: ProjectoFEUP  
Tese De Mestrado\_ Antonio Brito

Data:12/06/08

### 1.- DADOS DE GRUPOS E PLANTAS

Planta	Altura	Cotas	Grupos (Águas)
Cobertura	0.00	3.00	Cobertura
Rés-do-chão	3.00	0.00	Rés-do-chão

### 2.- DADOS DE OBRA

Caudais com simultaneidade, conforto médio  
Pressão de abastecimento na entrada: 25.0 m.c.a.  
Velocidade mínima: 0.6 m/s  
Velocidade máxima: 1.8 m/s  
Coeficiente de perda de carga: 1.2  
Pressão mínima em pontos de débito: 10.0 m.c.a.  
Pressão máxima em pontos de débito: 60.0 m.c.a.  
Viscosidade de água fria:  $1.01 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s  
Viscosidade de água quente:  $0.478 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s  
Coeficiente de resistência: Colebrook-White  
Perda de temperatura admissível na rede de água quente: 5 °C

### 3.- BIBLIOTECAS

#### *BIBLIOTECA DE TUBOS DE ABASTECIMENTO*

Série: PP-R PN20 Descrição: Tubagem em polipropileno - 20Kg/cm <sup>2</sup> Rugosidade absoluta: 0.0200 mm	
Referências	Diâmetro interno
Ø16	10.6
Ø20	13.2
Ø25	16.6
Ø32	21.2
Ø40	26.6
Ø50	33.2
Ø63	42.0
Ø75	50.0
Ø90	60.0

## Listagem

Nome da Obra: ProjectoFEUP

Data: 12/06/08

Tese De Mestrado\_ Antonio Brito

---

### 4.- TUBAGENS

Grupo: Rés-do-chão			
Referência	Descrição	Resultados	Verificação
N1 -> N2	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.46 l/s Caudal bruto: 0.70 l/s Velocidade: 1.29 m/s Perda de pressão: 1.26 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N2 -> N6	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 44.00 m	Caudal: 0.46 l/s Caudal bruto: 0.70 l/s Velocidade: 1.29 m/s Perda de pressão: 5.56 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N4 -> N8	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 8.00 m	Caudal: 0.10 l/s Velocidade: 1.13 m/s Perda de pressão: 1.93 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N4 -> N9	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 5.00 m	Caudal: 0.15 l/s Velocidade: 1.70 m/s Perda de pressão: 2.51 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N4 -> N3	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 25.00 m	Caudal: 0.32 l/s Caudal bruto: 0.35 l/s Velocidade: 1.47 m/s Perda de pressão: 5.48 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N6 -> N4	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.42 l/s Caudal bruto: 0.60 l/s Velocidade: 1.19 m/s Perda de pressão: 1.09 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N3 -> N7	PP-R PN20-Ø20 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.10 l/s Velocidade: 0.73 m/s Perda de pressão: 0.83 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações

### 5.- NÓS

Grupo: Rés-do-chão			
Referência	Descrição	Resultados	Verificação
N1		NÓ ENTRADA Pressão: 25.00 m.c.a.	
N2		Pressão: 23.74 m.c.a.	
N8	Consumo genérico: 0.10 l/s	Pressão: 15.16 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N4		Pressão: 17.09 m.c.a.	
N9	Consumo genérico: 0.15 l/s	Pressão: 14.57 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N7	Consumo genérico: 0.10 l/s	Pressão: 10.78 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N6	Consumo genérico: 0.10 l/s	Pressão: 18.18 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N3	Consumo genérico: 0.25 l/s	Pressão: 11.61 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações

### 6.- MEDIÇÃO

#### 6.1.- Colunas montantes

Sem medição

## Listagem

Nome da Obra: ProjectoFEUP  
Tese De Mestrado\_ Antonio Brito

Data: 12/06/08

### 6.2.- Grupos

#### COBERTURA

Sem medição

#### RÉS-DO-CHÃO

Tubos de abastecimento	
Referências	Comprimento (m)
PP-R PN20-Ø32	64.00
PP-R PN20-Ø16	13.00
PP-R PN20-Ø25	25.00
PP-R PN20-Ø20	10.00

### 6.3.- Totais

Tubos de abastecimento	
Referências	Comprimento (m)
PP-R PN20-Ø32	64.00
PP-R PN20-Ø16	13.00
PP-R PN20-Ø25	25.00
PP-R PN20-Ø20	10.00

10.3.2. "CYPE" COM CENÁRIO B)

**Listagem**

Nome da Obra: ProjectoFEUP2

Data: 12/06/08

Tese De Mestrado\_ Antonio Brito\_Programa2

---

**ÍNDICE**

- 1.- DADOS DE GRUPOS E PLANTAS
- 2.- DADOS DE OBRA
- 3.- BIBLIOTECAS
- 4.- TUBAGENS
- 5.- NÓS
- 6.- MEDIÇÃO
  - 6.1.- Colunas montantes
  - 6.2.- Grupos
  - 6.3.- Totais

## Listagem

Nome da Obra: ProjectoFEUP2

Data:12/06/08

Tese De Mestrado\_ Antonio Brito\_Programa2

---

### 1.- DADOS DE GRUPOS E PLANTAS

Planta	Altura	Cotas	Grupos (Águas)
Cobertura	0.00	3.00	Cobertura
Rés-do-chão	3.00	0.00	Rés-do-chão

### 2.- DADOS DE OBRA

Caudais com simultaneidade, conforto médio

Velocidade mínima: 0.6 m/s

Velocidade máxima: 1.8 m/s

Coefficiente de perda de carga: 1.2

Pressão mínima em pontos de débito: 10.0 m.c.a.

Pressão máxima em pontos de débito: 60.0 m.c.a.

Viscosidade de água fria:  $1.01 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

Viscosidade de água quente:  $0.478 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

Coefficiente de resistência: Colebrook-White

Perda de temperatura admissível na rede de água quente: 5 °C

### 3.- BIBLIOTECAS

#### BIBLIOTECA DE TUBOS DE ABASTECIMENTO

Série: PP-R PN20	
Descrição: Tubagem em polipropileno - 20Kg/cm <sup>2</sup>	
Rugosidade absoluta: 0.0200 mm	
Referências	Diâmetro interno
Ø16	10.6
Ø20	13.2
Ø25	16.6
Ø32	21.2
Ø40	26.6
Ø50	33.2
Ø63	42.0
Ø75	50.0
Ø90	60.0

## Listagem

Nome da Obra: ProjectoFEUP2

Data:12/06/08

Tese De Mestrado\_ Antonio Brito\_Programa2

---

### 4.- TUBAGENS

Grupo: Rés-do-chão			
Referência	Descrição	Resultados	Verificação
N1 -> N9	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.41 l/s Caudal bruto: 0.57 l/s Velocidade: 1.16 m/s Perda de pressão: 1.04 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N1 -> N5	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 2.00 m	Caudal: 0.29 l/s Caudal bruto: 0.30 l/s Velocidade: 1.36 m/s Perda de pressão: 0.38 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N9 -> N3	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 15.00 m	Caudal: 0.25 l/s Velocidade: 1.16 m/s Perda de pressão: 2.11 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N9 -> N10	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 2.00 m	Caudal: 0.15 l/s Velocidade: 1.70 m/s Perda de pressão: 1.01 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N3 -> N2	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 10.00 m	Caudal: 0.25 l/s Velocidade: 1.16 m/s Perda de pressão: 1.41 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações
N5 -> N6	PP-R PN20-Ø25 Comprimento: 3.00 m	Caudal: 0.29 l/s Caudal bruto: 0.30 l/s Velocidade: 1.36 m/s Perda de pressão: 0.57 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N6 -> N13	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 7.00 m	Caudal: 0.10 l/s Velocidade: 1.13 m/s Perda de pressão: 1.68 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N6 -> N8	PP-R PN20-Ø20 Comprimento: 6.00 m	Caudal: 0.20 l/s Velocidade: 1.46 m/s Perda de pressão: 1.73 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N8 -> N7	PP-R PN20-Ø20 Comprimento: 4.00 m	Caudal: 0.20 l/s Velocidade: 1.46 m/s Perda de pressão: 1.15 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N10 -> N11	PP-R PN20-Ø16 Comprimento: 0.50 m	Caudal: 0.15 l/s Velocidade: 1.70 m/s Perda de pressão: 0.25 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N12 -> N1	PP-R PN20-Ø32 Comprimento: 0.10 m	Caudal: 0.51 l/s Caudal bruto: 0.87 l/s Velocidade: 1.44 m/s Perda de pressão: 0.02 m.c.a. PERCURSO MAIS DESFAVORÁVEL	Cumprem-se todas as verificações

## Listagem

Nome da Obra: ProjectoFEUP2

Data: 12/06/08

Tese De Mestrado\_ Antonio Brito\_Programa2

---

### 5.- NÓS

Grupo: Rés-do-chão			
Referência	Descrição	Resultados	Verificação
N1		Pressão: 14.56 m.c.a.	
N9	Consumo genérico: 0.17 l/s	Pressão: 13.52 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N3		Pressão: 11.41 m.c.a.	
N2	Consumo genérico: 0.25 l/s	Pressão: 10.00 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N5		Pressão: 14.18 m.c.a.	
N6		Pressão: 13.61 m.c.a.	
N13	Consumo genérico: 0.10 l/s	Pressão: 11.93 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N8		Pressão: 11.88 m.c.a.	
N11	Consumo genérico: 0.15 l/s	Pressão: 12.26 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N10		Pressão: 12.51 m.c.a.	
N7	Consumo genérico: 0.20 l/s	Pressão: 10.73 m.c.a.	Cumprem-se todas as verificações
N12		NÓ ENTRADA Pressão mínima necessária: 14.57 m.c.a.	

### 6.- MEDIÇÃO

#### 6.1.- Colunas montantes

Sem medição

#### 6.2.- Grupos

**COBERTURA**

Sem medição

**RÉS-DO-CHÃO**

Tubos de abastecimento	
Referências	Comprimento (m)
PP-R PN20-Ø32	10.10
PP-R PN20-Ø25	30.00
PP-R PN20-Ø16	9.50
PP-R PN20-Ø20	10.00

#### 6.3.- Totais

Tubos de abastecimento	
Referências	Comprimento (m)
PP-R PN20-Ø32	10.10
PP-R PN20-Ø25	30.00
PP-R PN20-Ø16	9.50
PP-R PN20-Ø20	10.00

## 10.4. EXCERTOS DA MACRO EM VBA

### 10.4.1. AS MATRIZES MApE E MACe NA ANÁLISE DA "REVERSIBILIDADE DO ESCOAMENTO"

#### PRP2:

'Tendo os numeros principais os quais vou ter que alterar o seu troco vou ao vector "trajecto\_optimo\_por\_pontoprincipal" e tenho de alterar os torocos.

' Como? a) Primeiro faco apagar os caminhos (mete-se caudal negativo e soma-se) b) depois arranja-se maneira de detectar qual o novo caminho através do qual há

' união entre o caminho que quer contrariar o escoamento e o troco a alterar

#### 10.4.1.1. MApE

\*\*\*\*\*INICIO ESCRITA DO APAGAR\_EXTRA\*\*\*\*\*

'a)APAGAR CAMINHOS e COPIAR PARA UMA MATRIZ OS VECTORES A APAGAR CASO SEJA MAIS ECONOMICO, JÁ NO MODO DEFINITIVO

num\_de\_pontos\_a\_mudar\_inv = pontos\_a\_mudar\_inv\_todos\_diferentes(0)

'Primeiro copia para um vector APAGAR\_EXTRA para caso seja esta a solucao mais economica, no modo definitivo, este ter uma matriz para

' poder apagar (ou melhor, implementar com caudal negativo!!!)

coluna\_nova\_apagar\_extra = 0

For mudados\_inv = 1 To num\_de\_pontos\_a\_mudar\_inv 'ver quais os pontos que vao ser mudados

For i\_inv = 1 To coluna\_da\_matriz\_nova 'coluna maxima do toppp

If trajecto\_optimo\_por\_pontoprincipal(1, i\_inv) = pontos\_a\_mudar\_inv\_todos\_diferentes(mudados\_inv) Then 'é o ponto que esta logo no 1º indice das linhas que é o ponto inicial (ponto principal)

coluna\_nova\_apagar\_extra = coluna\_nova\_apagar\_extra + 1

For ii\_inv = 1 To trajecto\_optimo\_por\_pontoprincipal(0, i\_inv) 'está na linha 0 o valor da profundidade desse vector

apagar\_extra(ii\_inv, coluna\_nova\_apagar\_extra) = trajecto\_optimo\_por\_pontoprincipal(ii\_inv, i\_inv)

Next

apagar\_extra(0, coluna\_nova\_apagar\_extra) = trajecto\_optimo\_por\_pontoprincipal(0, i\_inv)

GoTo nova\_insercao\_de\_ponto\_apagar

End If

Next

nova\_insercao\_de\_ponto\_apagar:

Next

'MsgBox "qtos apagar\_vec? " & coluna\_nova\_apagar\_extra

'Tem "coluna\_nova\_apagar\_extra" colunas

'Cada coluna tem "apagar\_extra(0, xxx)" linhas.

\*\*\*\*\*FIM ESCRITA DO APAGAR\_EXTRA\*\*\*\*\*

#### 10.4.1.2. MACe

\*\*\*\*\*INICIO ESCRITA DO VECTORES\_EXTRA\*\*\*\*\*

'b)Detectar novo caminho a incorporar e GRAVA-LO PARA UMA MATRIZ VECTORES\_EXTRA

'Primeiro saber a que coluna a matriz `trajecto_optimo_por_pontoprincipal(,)` é igual ao ponto a "apagar" e a ser renovado por outro caminho por influencia do pontoque terá caudal invertido.

`coluna_nova_pontos_princ_extra = 0`

`For x = 1 To pontos_a_mudar_inv_todos_diferentes(0)` 'do primeiro ao ultimo numero a ser alterado...

`For y = 1 To coluna_da_matriz_nova` 'da primeira coluna até à ultima até agora implementada do vector  
"trajecto\_optimo\_por\_pontoprincipal" que representa todos os caminhos implantados até ao momento

`If pontos_a_mudar_inv_todos_diferentes(x) = trajecto_optimo_por_pontoprincipal(1, y) Then`

`For z = 1 To trajecto_optimo_por_pontoprincipal(0, y)`

`For w = 1 To solucao(0, i)`

`If trajecto_optimo_por_pontoprincipal(z, y) = solucao(w, i) Then`

`ate_a_mudar_inclusive = z` 'É o z-ésimo numero do seu vector igaul ao w-ésimo do fixo.

`fixo_desde = w`

`coluna_nova_pontos_princ_extra = coluna_nova_pontos_princ_extra + 1`

`'Criacao do vector()`

`For a = 1 To z`

`vectores_extra(a, coluna_nova_pontos_princ_extra) = trajecto_optimo_por_pontoprincipal(a, y)`

`Next`

`For b = 1 To (solucao(0, i) - w)`

`vectores_extra(z + b, coluna_nova_pontos_princ_extra) = solucao(w + b, i)`

`Next`

`vectores_extra(0, coluna_nova_pontos_princ_extra) = z + (solucao(0, i) - w)`

`GoTo nova_insercao_de_ponto_extra`

`End If`

`Next`

`Next`

`End If`

`Next`

`nova_insercao_de_ponto_extra:`

`Next`

`"" MsgBox "qtos vec extra? " & coluna_nova_pontos_princ_extra`

`"Tem "coluna_nova_pontos_princ_extra" colunas`

`'Cada coluna tem "vectores_extra(0, xxx)" linhas.`

\*\*\*\*\*FIM ESCRITA DO VECTORES\_EXTRA\*\*\*\*\*



