

APLICAÇÃO DE PROCESSOS BIM AO DIMENSIONAMENTO E REPRESENTAÇÃO DE PROJETOS DE REDES PREDIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUAS

MARIANA MESQUITA RIBEIRO DA GRAÇA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

Coorientador: Engenheiro André Giestas Cancela Monteiro

JANEIRO DE 2019

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2018/2019

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2018/2019 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À memória da minha Avó paterna,

RESUMO

A tecnologia tende a tornar-se, cada vez mais, parte integrante da indústria da construção, sendo o desenvolvimento e a adoção de metodologias *Building Information Modeling* (BIM) verificados ao longo dos últimos anos, a nível nacional e internacional, um dos sintomas disso mesmo. As diferenças entre as metodologias tradicionais e as metodologias BIM são notórias, sendo já reconhecidas muitas vantagens desta utilização no desenvolvimento e gestão da informação de projetos.

O projeto de execução das redes prediais de água tem a particularidade de ser representado com um nível de pormenorização mais baixo do que nas restantes especialidades, facto evidente pela preponderância de traçados unifilares, pela escassez de cortes, alçados e isometrias, e pela utilização de pormenores-tipo para a generalidade dos processos construtivos, o que leva a que em fase de preparação ou até execução, seja necessário a definição da rede. A utilização da metodologia BIM no desenvolvimento do projeto desta especialidade obriga a uma reinterpretação da forma como o projeto é desenvolvido na medida em que a necessidade de construir o modelo 3D da rede leva a que seja necessário antecipar toda a sua definição para esta fase.

Algumas ferramentas de modelação BIM disponíveis no mercado integram ferramentas de cálculo hidráulico, mas, na sua generalidade verifica-se que estão formatadas para regulamentos internacionais, o que torna necessário perceber se e de que forma é possível ajustar os parâmetros das ferramentas ao regulamento português. Na presente dissertação é realizada essa análise e proposta uma metodologia de aplicação da metodologia BIM ao dimensionamento de redes prediais de abastecimento de água. Para além do dimensionamento, a metodologia contempla igualmente a definição de processos de formatação e representação gráfica dos modelos, a aplicação de rotinas de coordenação espacial com outras especialidades e a verificação de critérios regulamentares a partir dos modelos. A metodologia proposta apresenta um forte cariz prático, apoiando-se em processos automatizados com base em rotinas desenvolvidas recorrendo a ferramentas de programação visual.

Por fim, conclui-se que não é possível aplicar diretamente as ferramentas BIM disponíveis no mercado para satisfazer em simultâneo os vários requisitos de projeto, incluindo a aplicação de dimensionamento, a verificação de conformidade regulamentar, a coordenação e representação gráfica. Em contrapartida é possível adotar uma metodologia que tire partido de diferentes ferramentas e automatize o fluxo de informação entre elas, de modo a que, o modelo BIM assuma um lugar central em cada uma destas componentes.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto de redes prediais de abastecimento de água, BIM, dimensionamento, modelação, programação visual

ABSTRACT

Technology is increasingly becoming a fundamental part of the construction industry, as demonstrated by the developments and the levels of adoption of Building Information Modeling (BIM) methods seen over the last years, both nationally and internationally. The differences between the traditional workflows and the BIM methodologies are notorious and many advantages of its uses in the development and management of project information already recognized in the industry.

The plumbing design documents have the particularity of being represented with a lower level of detail than in other disciplines, as demonstrated by the preponderance of single line drawings, the shortage of sections views, elevations and 3D views, and the use of generic drawings to detail and define the construction methods. As a result, the full definition of the network is usually done in the later stages of construction. The use of the BIM methodology applied to this discipline requires a reinterpretation of the way the project is developed. Since the full network definition is required to build the 3D model, the complete definition is thus anticipated to the design phase.

Some BIM modeling application available in the market integrate hydraulic calculation tools, however, they are usually configured for international regulations, which makes it necessary to assess if it is possible to adjust their parameters to the portuguese regulation. This thesis includes an analysis of this issue and presents a framework for the application of a BIM methodology to the building water supply network design. In addition to the design aspects, the methodology also includes the definition of graphical representation parameters, the application of routines for spatial coordination with other disciplines and for code checking. The proposed methodology relies on automated procedures for the application of the visual programming- based scripts developed in this thesis.

It is concluded that it is not possible to directly apply the current BIM tools to simultaneously satisfy the various design requirements, including sizing, regulation compliance, coordination and graphic representation. However, it is possible to adopt a methodology that takes advantage of different tools and to automate the flow of information between them so that the BIM model takes a central place in each of these components.

KEYWORDS: Building water supply design, BIM, design, modelling, visual programming

ÍNDICE GERAL

RESUMO	I
ABSTRACT	III
1.INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	2
1.3. METODOLOGIA	3
1.4. ESTRUTURA DA TESE	3
2.PROJETO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	5
2.1. ANÁLISE DE ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR PORTUGUÊS	5
2.2. TRAÇADO E INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO	6
2.2.1. SIMBOLOGIA	7
2.2.2. DOCUMENTOS ENTREGÁVEIS DE UM PROJETO	7
2.3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	8
2.3.1. CAUDAL DE CÁLCULO.....	9
2.3.2. CÁLCULO DO DIÂMETRO E PERDAS DE CARGA.....	12
2.3.2.1 Cálculo do diâmetro	12
2.3.2.2. Cálculo das perdas de carga	13
2.3.3. VERIFICAÇÃO DAS PRESSÕES	15
2.4. <i>INTERNATIONAL PLUMBING CODE - IPC</i>	16
3.ANÁLISE DE PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO EM SOFTWARE BIM.....	19
3.1. BIM - APLICABILIDADE DO MODELO VIRTUAL.....	19
3.2. PRODUÇÃO AUTOMÁTICA DE DESENHOS DE PROJETO	20
3.3. CÁLCULO HIDRÁULICO.....	22
3.4. SOFTWARE DE MODELAÇÃO BIM- REVIT MEP	22
3.4.1. PRINCÍPIOS GERAIS.....	22
3.4.2. CONFIGURAÇÕES DO CAUDAL.....	23
3.4.2.1. Configurações: Fixture units vs Preset	24

3.4.3. PERDA DE CARGA	28
3.4.4. PREDOMINANTLY FLUSH VALVES VS PREDOMINANTLY FLUSH TANKS	29
3.5. FUNCIONALIDADES IMPORTANTES PARA O DIMENSIONAMENTO	30
3.5.1 TABELAS DINÂMICAS	30
3.5.2. LEGENDAS E FILTROS DE VISUALIZAÇÃO REVIT	31
3.5.2.1. Legendas de cores para tubagem	31
3.5.2.2. Filtros de visualização	32
3.5.3. DUCT/PIPE SIZING	33
3.5.4. PIPE PRESSURE LOSS REPORT	34
3.6. DYNAMO	34
4. DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE AUXÍLIO AO DIMENSIONAMENTO	35
4.1. ENQUADRAMENTO	35
4.2. ABORDAGEM BASEADA NA CONFIGURAÇÃO FIXTURE UNITS	35
4.3. ABORDAGEM BASEADA NA CONFIGURAÇÃO PRESET	37
4.4. FERRAMENTAS DE AUXÍLIO PARA VERIFICAÇÕES	43
4.4.1. VERIFICAÇÃO DE ELEMENTOS DE TUBAGEM EMBUTIDOS NAS PAREDES	43
4.4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS PRUMADAS PRESENTES NAS <i>COURETTES</i>	43
4.4.3. IDENTIFICAÇÃO DAS PRUMADAS PRINCIPAIS	44
4.4.4. IDENTIFICAÇÃO DA DIFERENÇA DE COTA MÁXIMA ENTRE TUBAGENS	45
4.4.5. VERIFICAÇÃO DA DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE TUBAGEM	45
4.4.6. IDENTIFICAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS TUBAGENS	47
4.4.7. IDENTIFICAÇÃO DAS VELOCIDADES NAS TUBAGENS	47
4.5. TEMPLATE REVIT	48
4.5.1. SIMBOLOGIA E MATERIAIS	49
4.5.2. TABELAS DINÂMICAS	50
4.5.3. PARÂMETROS	51
4.5.4. FAMÍLIAS	52
4.5.5. SCRIPTS	52
4.5.6. VIEW TEMPLATES	53

5.CASO DE ESTUDO	55
5.1. INTRODUÇÃO AO CASO DE ESTUDO	55
5.2. APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PELA CONFIGURAÇÃO FIXTURE UNITS	56
5.3. APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PELA CONFIGURAÇÃO PRESET	58
5.4. ANÁLISE COMPARATIVA	61
5.5. APLICAÇÃO DOS <i>SCRIPTS</i> DE VERIFICAÇÕES	63
6.CONCLUSÕES	65
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	1
ANEXO I.....	2
ANEXO II.....	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Constituição de uma rede de distribuição de água.....	6
Figura 2 - Caudais de cálculo, em função dos caudais acumulados (nível de conforto médio) (EPAL 2011)	11
Figura 3 - Processo de dimensionamento.....	16
Figura 4 - Comparação entre os dispositivos e respetivos caudais instantâneos.....	18
Figura 5 - Representação esquemática de algumas potencialidades da modelação virtual.....	20
Figura 6 - Exemplo da representação tradicional de um projeto de redes prediais de abastecimento de água	21
Figura 7 – Representação diretamente a partir do modelo de coordenação (esquerda). Representação automática de desenhos conforme tradicionalmente representado (direita).....	21
Figura 8 - Exemplo de uma família <i>Plumbing Fixture</i>	24
Figura 9 - Exemplo prático onde demonstra o cálculo na configuração <i>Fixture Units</i>	25
Figura 10 - Exemplo prático onde demonstra o cálculo na configuração <i>Preset</i>	26
Figura 11 - Relação entre <i>fixture units</i> e os respetivos caudais de cálculo obtidos a partir dos critérios do IPC (IPC) e dos diferentes critérios definidos no método Delebecque (PT).....	27
Figura 12 - Proporção entre o caudal de cálculo obtido a partir do IPC relativamente e o caudal de cálculo obtido a partir do regulamento português relativamente às respetivas <i>fixture units</i>	28
Figura 13 - Relação entre as <i>fixture units (Predominantly Flush Tanks)</i> e as <i>fixture units (Predominantly Flush Valves)</i> e o caudal em L/s.....	29
Figura 14 - Relação entre as <i>fixture units (Predominantly Flush Tanks)</i> e as <i>fixture units (Predominantly Flush Valves)</i> e o caudal em L/s.....	30
Figura 15 – Verificação de requisito regulamentar através do uso de formatação condicional das tabelas de Revit.	31
Figura 16 - <i>Pipe color fill legend</i>	32
Figura 17 - Exemplo da aplicabilidade da ferramenta <i>Pipe Legend</i>	32
Figura 18 - Vista em planta e vista 3D após a aplicação do filtro criado.....	33
Figura 19 - Comando <i>Duct/Pipe sizing</i> : exemplo prático	34
Figura 20 - Fluxo de trabalho: Abordagem baseada na configuração <i>Fixture Units</i>	36
Figura 21 - Parâmetros integrados nas propriedades das famílias	37
Figura 22 - Fluxo de trabalho: Abordagem baseada na configuração <i>Preset</i>	38
Figura 23 - <i>Script A.1</i> : Determinar o número de equipamentos sem fluxómetro.....	39
Figura 24 - <i>Script A.1</i> : Atribuir valor ao parâmetro <i>FT Quantity</i>	40
Figura 25 - <i>Script A.1</i> : Definir caudais instantâneos aos equipamentos sem fluxómetro	40

Figura 26 - <i>Script A.1</i> : Atribuir o valor do caudal acumulado ao parâmetro FT Flow.....	41
Figura 27 - <i>Script A.2</i> : Script para exportar informações da tubagem para uma tabela Excel.....	41
Figura 28 - <i>Script A.3</i> : Importação do dimensionamento da folha Excel para o modelo Revit.....	42
Figura 29 - Folha de cálculo Excel.....	42
Figura 30 - <i>Script B</i> : Identificação da tubagem embebida nas paredes.....	43
Figura 31 - <i>Script C</i> : Identificação das prumadas dentro das <i>courettes</i>	44
Figura 32 - <i>Script D</i> : Seleção da tubagem vertical.....	44
Figura 33 - <i>Script D</i> : Determinação da altura média entre pisos.....	44
Figura 34 - <i>Script D</i> : Parte do Script de identificação de prumada principal.....	45
Figura 35 - <i>Script E</i> : Identificação da diferença de cota máxima entre tubagens.....	45
Figura 36 - <i>Script F</i> : Identificação do tipo de sistema da tubagem e definição da sua geometria com tolerância.....	46
Figura 37 - <i>Script F</i> : Verificação do cumprimento da condição imposta.....	46
Figura 38 - Aplicação do filtro de visualização para identificar a tubagem que não cumpre a distância mínima.....	47
Figura 39 - <i>Pipe Color Fill - Sizes</i>	47
Figura 40 - Definição de filtros para verificação de velocidades.....	48
Figura 41 - Representação 3D e 2D da aplicação dos filtros de visualização.....	48
Figura 42 - <i>Pipe Color Fill - Velocity</i>	48
Figura 43 - Materiais de tubagens disponíveis no <i>template</i>	50
Figura 44 - Representação geométrica das famílias Revit.....	52
Figura 45 - Modelo de arquitetura do caso de estudo.....	55
Figura 46 - Modelo de abastecimento de água: planta de trabalho do piso 2.....	56
Figura 47 - Vista 3D do modelo de abastecimento de água.....	57
Figura 48 - Caminho crítico atribuído pelo <i>Pipe Pressure Loss Report</i>	57
Figura 49 - Caminho crítico atribuído pelo <i>Pipe Pressure Loss Report</i> versus caminho crítico identificado pelo manual.....	58
Figura 50 - Informação do ramal de ligação antes e após da execução do <i>script A.1</i>	59
Figura 51 - Representação da tubagem antes e após da execução do <i>script A.3</i>	59
Figura 52 - Plantas do piso 2.....	60
Figura 53 - Plantas do piso 3.....	60
Figura 54 - Comparação dos caudais de cálculo de ambas as abordagens.....	62
Figura 55 - Comparação dos diâmetros de dimensionamento de ambas as abordagens.....	62
Figura 56 - Aplicação do <i>script B - Check_Pipes_Walls</i>	63

Figura 57 - Aplicação do <i>script C - Check_Pipes_Courettes</i> e <i>script D - Check_Main_Vertical</i>	63
Figura 58 - Aplicação do <i>script E - Check_Max_Height</i>	64
Figura 59 - Aplicação do <i>script F - Check_CW_HW_Clearance</i>	64

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos diâmetros mínimos, correspondes aos valores de pressão presentes nos ramais de alimentação de fluxómetros, para bacia de retrete (RGSPDADAR 1995)	9
Tabela 2 - Coeficientes correspondentes aos diferentes níveis de conforto (Pedroso 2000)	10
Tabela 3 - Simultaneidade de fluxómetros instalados (Paixão 1999)	12
Tabela 4 - Comparação dos caudais instantâneos de cada equipamento entre o regulamento português e o IPC.....	17
Tabela 5 - Simbologia de projeto definida no <i>template</i>	49
Tabela 6 - Parâmetros definidos no <i>template</i>	51
Tabela 7 - <i>Scripts</i> desenvolvidos para apoio ao dimensionamento e modelação.....	52
Tabela 8 - Comparação entre os ramais de introdução e ligação	61
Tabela 9 - Comparação entre os ramais de distribuição e alimentação.....	61

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

2D - Duas Dimensões

3D - Três Dimensões

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção

API - Application Programming Interface

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BIM - *Building Information Modeling*

BOCA - *Building Officials and Code Administrators International*

CW - Cold Water

CWFU - *Cold Water Fixture units*

EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres

FT - *Flush Tanks*

FU - *Fixture units*

FV - *Flush Valves*

ICBO - *International Conference of Building Officials*

ICC - *International Code Council*

ID - *Identity*

IPC - *International Plumbing Code*

IRC - *International Residential Code*

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MEP - *Mechanical, Electrical and Plumbing*

MTQ - Mapa de Trabalhos e Quantidades

NP204 - Normas Portuguesa 204

NP48 - Normas Portuguesa 48

NP49 - Normas Portuguesa 49

NP89 - Normas Portuguesa 89

RGSPDADAR- Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais

SBCC - *Southern Building Code Congress*

SMAS - Serviços Municipalizados de Água e Saneamento

VPL - *Virtual Programming Language*

WSFU - *Water Supply Fixture units*

b - Coeficiente de rugosidade do material [mm]

D - Diâmetro interno

ε - Rugosidade absoluta [mm]

f - Fator resistência

g - Aceleração da gravidade [m/s^2]

gpm - Galões por minuto

J - Perda de carga [m/m]

J_l - Perda de carga localizada [m/m]

J_{contínua} - Perda de carga contínua [m/m]

J_{localizada} - Perda de carga localizada [m/m]

k - Coeficiente de resistência Revit

L - Comprimento da tubagem [m]

N - Número de equipamentos

N - Número de fluxómetros considerado

P_d - Pressão disponível na rede pública de distribuição, à entrada do edifício [m.c.a.]

P_x - Pressão disponível no ponto considerado [m.c.a.]

Q_a - Caudal acumulado [L/s]

Q_{a PT} - Caudal acumulado Português [L/s]

Q_c - Caudal cálculo [L/s]

Q_{c PT alto} - Caudal de cálculo Português segundo a equação do conforto alto [L/s]

Q_{c PT baixo} - Caudal de cálculo Português segundo a equação do conforto baixo [L/s]

Q_{c PT} - Caudal cálculo Português [L/s]

Q_{c PT medio} - Caudal de cálculo Português segundo a equação do conforto medio [L/s]

Q_i - Caudal instantâneo [L/s]

Q_{if} - Caudal instantâneo dos equipamentos com fluxómetros [L/s]

Q_{inst IPC} - Caudal instantâneo dos equipamentos segundo o IPC [L/s]

Q_{inst PT} - Caudal instantâneo dos equipamentos segundo o Regulamento Português [L/s]

Re - Número de Reynolds

S - Secção de passagem do fluido escoado

v - Velocidade escoamento [m/s]

x - Coeficiente de simultaneidade

Z_n - diferença de cota entre o ponto x e a rede pública de distribuição [m]

Δ_{IPC-PT} - Diferença entre caudal instantâneo dos equipamentos portugueses e os definidos no IPC

ΔH_T - perda de carga total

ΔP - Perda de carga Revit [kPa]

ζ - Coeficiente que depende da geometria da singularidade, do número de Reynolds e de determinadas condições do escoamento

ρ - Densidade do fluido (Kg/m³)

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O avanço tecnológico registado ao longo dos últimos anos tem-se verificado em diferentes formas nas quais se inclui a cada vez maior adoção de ferramentas e processo de trabalho suportados na metodologia *Building Information Modeling* (BIM) (Bernstein 2014). O conceito de metodologia BIM está diretamente relacionado com os processos de criação de protótipos digitais e tridimensional do edifício que retratam as diferentes especialidades dos projetos. São várias as possíveis aplicações de um modelo BIM desde a integração e extração de informação, a navegação e extração de desenhos de projeto, a coordenação multidisciplinar e o auxílio aos processos de cálculo e dimensionamento. Na sua vertente mais conceptual, a metodologia BIM prevê a utilização e evolução do modelo ao longo das várias fases do ciclo de vida do projeto (Eastman 2008).

As vantagens da adoção de uma metodologia BIM encontram-se bem documentadas no contexto nacional (Monteiro 2016) e internacional (Fountain 2018), sendo as melhorias na comunicação e coordenação de projetos, tipicamente, as mais destacadas. Ao contrário de países como o Reino Unido (PAS1192-2:2013), os Estados Unidos (GSA 2007), a Finlândia (COBIM 2012) ou Singapura (Singapore 2013), entre outros, não existe enquadramento legal que obrigue à utilização de metodologias BIM em Portugal. A adoção verificada a nível nacional tem partido sobretudo das empresas que reconhecem vantagens na adoção da metodologia e de donos de obra que pretendem impor uma forma de trabalhar que minimize erros e incompatibilidades de projeto.

A implementação de uma metodologia BIM no processo de trabalho corrente de uma empresa transcende a simples adoção de uma ferramenta de modelação. É necessário reformular a abordagem ao projeto que passa a obrigar a um maior nível de definição do mesmo. Havendo princípios que são transversais a qualquer empresa, independentemente de se tratar de um gabinete de projeto de determinada especialidade, de uma construtora ou de uma empresa que faça gestão de espaços e manutenção, a metodologia BIM deve ainda assim ser personalizada à medida das necessidades e parâmetros específicos de cada empresa. Este processo obriga a uma análise profunda dos processos de trabalho tradicionais para que a partir destes possa ser desenvolvida a nova metodologia de trabalho.

Ao contrário das metodologias BIM de alto nível que visam sobretudo a definição de protocolos de comunicação e troca de informação entre intervenientes, na definição das metodologias BIM de baixo nível a implementar nas empresas, e cujo principal foco está nos processos de modelação, a ferramenta escolhida tem particular importância.

A aplicação de uma metodologia BIM ao desenvolvimento de projetos de redes prediais de abastecimento de águas é uma área pouco explorada, sobretudo a nível nacional. Admite-se que as

dificuldades em ajustar os parâmetros de representação dos modelos às exigências regulamentares a este nível são um dos motivos. Por outro lado, o incremento no nível de definição a que a construção do modelo de projeto da rede obriga, relativamente ao processo tradicional caracterizado por representações unifilares puramente esquemáticas, é um fator económico-financeiro incontornável. A ausência de bibliografia relativa à aplicação dos modelos na vertente de cálculo e dimensionamento da rede sugere que esta é uma componente ainda por explorar, mas que podia ter um impacto significativo no sentido de incentivar a adoção da metodologia.

Algumas ferramentas de modelação BIM disponíveis no mercado integram ferramentas de cálculo de redes de abastecimento de águas, sendo o Revit um exemplo deste caso (Nower 2013). Verifica-se, no entanto, que a generalidade das ferramentas se encontra formatada para regulamentos internacionais cujos princípios de cálculo e dimensionamento são pouco compatíveis com os portugueses. A adaptação dos parâmetros de cálculo internacionais à realidade portuguesa seria a forma ideal de integrar a componente de cálculo na metodologia BIM aplicada às redes de abastecimento de águas. Não sendo possível fazê-lo, a metodologia terá de ser baseada num fluxo de trabalho misto, que visa tirar partido da informação gerada a partir dos modelos para auxiliar diretamente as operações de cálculo e dimensionamento numa aplicação externa, que depois importa e integra no modelo os resultados mais relevantes que influenciam a definição da rede.

1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

A presente dissertação foi desenvolvida em ambiente empresarial na bimTEC de onde surgiu a proposta do tema e objetivos para o trabalho. A bimTEC é uma empresa vocacionada para prestação de serviços BIM que desenvolve soluções inovadoras direcionadas para a Engenharia, Arquitetura e restante indústria da Construção. Encara o conceito BIM não só do ponto de vista do utilizador, mas procura também desempenhar um papel ativo na identificação das oportunidades e desenvolvimento de processos de produção inovadores baseados nesta tecnologia.

A modelação de projetos de redes de abastecimento de águas tem sido realizada, na empresa, sobretudo na ótica da coordenação de projetos de especialidades, no entanto, e à semelhança do que acontece com outras especialidades, haverá vantagens evidentes em aproveitar os modelos para outras componentes do projeto como o cálculo, dimensionamento e extração de desenhos. Sendo o Revit a principal aplicação de modelação utilizada na empresa, o trabalho desenvolvido incide essencialmente sobre esta ferramenta, sendo que se admite que muitos dos princípios abordados sejam aplicáveis a outras ferramentas, ainda que não de forma direta.

Os principais objetivos estabelecidos para o trabalho são os seguintes:

- Compreensão do funcionamento do software Revit no que ao cálculo e dimensionamento de redes de abastecimento de água diz respeito;
- Encontrar pontos de ligação entre o regulamento português e o código onde o Revit se baseia para execução do cálculo, o *International Plumbing Code* (IPC) de modo a ser possível integrar os métodos de cálculo do Revit nos projetos portugueses;
- Analisar as potencialidades do software para a elaboração de projetos de abastecimento de água, enquadrando as diferenças entre o método tradicional e a metodologia BIM;
- Analisar a simbologia e os critérios de representação gráfica definidos no RGSPDADAR e em que medida podem ser aplicados no Revit;

- Tirar partido da ferramenta de programação visual, Dynamo para criar rotinas de auxílio ao processo de cálculo e dimensionamento do Revit, e a outros processos como a verificação de disposições regulamentares e a aplicação de processos de coordenação;
- Demonstrar a utilidade das ferramentas desenvolvidas.

1.3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada na presente dissertação passa pela análise e parametrização do regulamento português na ótica do dimensionamento de redes, e na sua transposição para os processos de cálculo e dimensionamento suportados por modelos BIM. Este processo desenvolve-se através da confrontação entre o RGSPDADAR, regulamento português que define os critérios de conformidade a verificar, e o IPC, regulamento internacional que define os critérios de cálculo integrados na ferramenta de modelação analisada, o Revit.

Da análise dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia BIM para cálculo e dimensionamento de redes compatíveis com as disposições regulamentares portuguesas, são definidos novos processos de trabalho para obtenção de resultados que verifiquem inteiramente a conformidade regulamentar através da aplicação de fluxos de trabalho suportados em rotinas criadas recorrendo à aplicação de programação visual Dynamo.

As metodologias e ferramentas desenvolvidas são testadas, analisadas e validadas num caso de estudo.

1.4. ESTRUTURA DA TESE

De forma a estruturar os diferentes conceitos abordados ao longo do estudo desenvolvido, o documento foi repartido em 6 capítulos, em que cada um deles aborda os seguintes conceitos:

- No capítulo 1 é realizado o enquadramento do trabalho a desenvolver, explicando-se o que motivou a escolha do tema e quais os objetivos que são propostos assim como a metodologia adotada;
- No capítulo 2 são analisados regulamentos de projetos de abastecimento de redes prediais de águas, nomeadamente, o regulamento português e um regulamento internacional, de modo a ser possível parametrizar os critérios de dimensionamento a integrar nos modelos BIM;
- No capítulo 3, são abordados os conceitos inerentes ao cálculo hidráulico do software de modelação BIM, são identificadas as suas ferramentas de cálculo e analisados os valores obtidos para o dimensionamento realizado a partir da sua aplicação, enquadrados no âmbito dos critérios do regulamento português;
- No 4º capítulo são delineadas duas abordagens para a utilização das ferramentas BIM para o dimensionamento das redes e apresentadas as ferramentas desenvolvidas para aplicação da metodologia proposta;
- No capítulo 5, é apresentado o caso de estudo onde são postas em prática, as duas abordagens apresentadas no capítulo anterior, de modo a testar a sua aplicabilidade e viabilidade relativamente aos projetos de redes prediais de abastecimento de água;
- No capítulo 6, são apresentadas as conclusões e considerações finais do estudo desenvolvido assim como possíveis trabalhos futuros nesta área de estudo.

2

PROJETO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1. ANÁLISE DE ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR PORTUGUÊS

Os sistemas prediais de abastecimento de distribuição de água são concebidos, dimensionados e construídos atendendo a exigências de segurança, exigências de habitabilidade e exigências económicas.

A nível da segurança deverá ser respeitada a segurança estrutural, segurança em situação de incêndio e segurança de ocupação e uso, quanto a exigências de habitabilidade, devem ser cumpridas as condições de higiene, conforto visual e acústico e disponibilidade de espaço. Nos casos atuais grande parte dos edifícios são abastecidos através de uma rede pública que transporta água potável, e que terá de ser independente de outros sistemas de alimentação com origem diferente. Nos casos em que o abastecimento seja feito através de um poço terá de se ter em especial atenção as exigências de higiene para salvaguardar a saúde dos utilizadores. Dada a competitividade da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), as exigências económicas apresentam bastante relevância procurando otimizar a relação qualidade/custo e a facilidade de aplicação das soluções adotadas para o cumprimento dos requisitos da obra (Medeiros 2017).

A realização de um projeto de redes de abastecimento apresenta duas fases distintas até estar pronto para entrega tendo em consideração os elementos a entregar contemplados na Portaria 701-H. Primeiramente, define-se o respetivo traçado da rede, tendo presente a legislação que está em vigor na respetiva localização do projeto. A comunicação entre os diversos projetistas é essencial, pois nesta fase passa por se encontrar uma otimização entre os vários projetos de especialidades (arquitetura, esgotos, AVAC, gás, entre outros) e as opções indispensáveis à execução da rede de abastecimento de água. Na segunda fase do processo realiza-se o cálculo hidráulico, cumprindo a legislação e normas, tendo em conta os caudais necessários para garantir o abastecimento e bom funcionamento de cada dispositivo e respeitando também os limites de pressão. Determinando-se, desta forma, as dimensões da respetiva tubagem da rede. Poderá ser necessário recorrer a elementos sobreprensos, com capacidade de regular o nível de pressão exigido e a reservatórios com o objetivo de melhorar as condições de utilização da rede.

Tendo em conta o nível de ligação definido entre o sistema predial de distribuição e a rede pública, existem 3 tipos distintos de alimentação ao edifício, dependendo das condições de pressão e caudal disponíveis, nomeadamente: alimentação direta, alimentação indireta e alimentação mista. A alimentação direta faz-se prontamente através da sua ligação à rede pública de distribuição de água, tendo presente ou não um dispositivo sobreprensor. A alimentação indireta, é feita através da aquisição de reservatórios onde a água proveniente da rede pública é armazenada podendo ter ou não um elemento

sobrepessor presente, sendo feita posteriormente e através destes a sua distribuição pela edificação. Nas situações em que os edifícios apresentam elevada altura deverá ser avaliada a possibilidade de distribuição predial mista, que acontece quando na rede pública se verifica pressão suficiente para abastecer um determinado número de ramais de distribuição a uma determinada cota, mas que não permite o correto abastecimento de água a partir dessa cota, o que obriga ao recurso de um tipo de alimentação indireta.

Ter presente a constituição de uma rede de abastecimento de água é importante para se saber a finalidade de cada ramal, mesmo que estes não venham identificados nas peças desenhadas. Existem 6 tipos de ramais constituintes da rede, na figura seguinte encontra-se a sua identificação e breve explicação da sua função (Pedroso 2000).

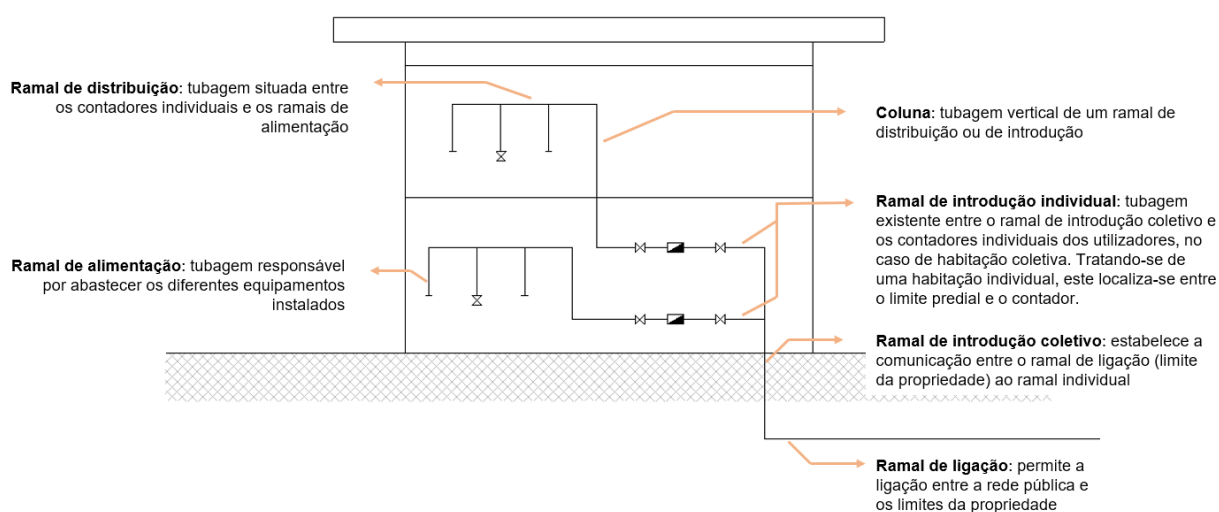


Figura 1 - Constituição de uma rede de distribuição de água

A ligação entre os diferentes componentes mencionados na Figura 1, é feita com recurso a acessórios diversos como válvulas, juntas de ligações, redutores de diâmetro, caixas de derivação, entre outros. Os equipamentos de utilização, contadores, dispositivos complementares como reservatórios com o fim de reserva, regularização de caudais ou para o caso de incêndio são outros constituintes indispensáveis às redes prediais.

Os contadores usados para medir o volume de água consumida por cada habitação, são instalados no ramal de distribuição e a instalação domiciliária (Paixão 1999). É da responsabilidade da entidade gestora de distribuição de água, definir as dimensões do local reservado à instalação e os seus acessórios com base nas especificações técnicas. Estes deverão ser colocados no interior dos edifícios e nas zonas comuns de fácil acesso, mediante tratar-se de uma habitação coletiva ou individual (Pedroso 2000).

2.2. TRAÇADO E INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Para concretizar o traçado de uma rede é necessário verificar as exigências normativas do “Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR),1995”. No processo de conceção e dimensionamento, o projetista procura utilizar

outras regras de modo a otimizar o rácio eficácia/custo. Com o intuito de facilitar futuras intervenções, o projeto deverá incluir o histórico das várias revisões realizadas.

O RGSPPDADAR é utilizado como o regulamento principal, salvaguardando que cada autarquia tem as suas normas e que têm de ser tidas em conta, onde estão contempladas as normas que visam o traçado das redes, tendo em consideração não só a fase de projeto, como também o período de manutenção após a entrega da obra. Podem-se destacar alguns dos artigos referentes ao traçado da rede que se sobressaem relativamente a cuidados a ter em conta no processo de se obter uma solução ideal, sendo eles: o 82º, o 84º, o 85º, o 87º, o 89º, o 95º, o 96º e o 102º.

Estas são apenas algumas das normas que devem ser seguidas na elaboração de um projeto de rede predial de abastecimento de águas, sendo que a totalidade delas podem ser consultadas no RGSPPDADAR.

2.2.1. SIMBOLOGIA

Os projetos de abastecimento de água contêm elevada quantidade de informação, pelo que se recorre a uma simbologia com o objetivo de simplificar e sistematizar a representação e a leitura das peças desenhadas.

Apresenta-se na Figura A.1 (Anexo I) um quadro que traduz a simbologia mencionada no RGSPPDADAR relativo à canalização e acessórios. É de salientar que a simbologia poderá sofrer ligeiras alterações de entidade para entidade. Não descuidando da identificação dos dispositivos e materiais, pois é um ponto igualmente importante, está presente na Figura A.2 (Anexo I) a informação referente a isso.

2.2.2. DOCUMENTOS ENTREGÁVEIS DE UM PROJETO

Na preparação das peças desenhadas deverá ser tido em conta o RGSPPDADAR, onde são referidos os desenhos que devem obrigatoriamente fazer parte dos entregáveis do projeto. É também fundamental atender às necessidades encontradas pelo projetista e pela entidade gestora de abastecimento de água, para desta forma se incluir todas as peças desenhadas requeridas. Como exemplo, são expostas as regras estabelecidas pela entidade responsável pelo abastecimento de água na cidade do Porto, os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento do Porto (SMAS). O regulamento das águas do Porto em vigor, faz referência aos seguintes pontos relativamente à instrução dos processos de projeto:

- Requerimento dirigido ao Diretor Delegado dos SMAS do Porto, a requerer a aprovação do projeto, assinado pelo promotor;
- Termo de responsabilidade do técnico autor do projeto;
- Planta de Localização facultada pelos SMAS. É da responsabilidade do autor do projeto requerer junto dos SMAS a localização em plantas das condutas, instalações complementares e acessórios, tendo por base a carta topográfica à escala 1:500 e todas as informações sobre as condutas, os materiais, tipo de juntas e seções das mesmas;
- Memória descritiva e justificativa, onde esteja presente a identificação do proprietário, a natureza, designação e local da obra, o tipo da obra, a descrição da conceção dos sistemas, os materiais e acessórios e as instalações complementares;
- Cálculo hidráulico onde apresente os critérios de dimensionamento adotados e o dimensionamento das redes, equipamentos e instalações complementares conjeturadas;
- Mapas de medição e orçamento a preços correntes, das obras a executar;

- Peças desenhadas dos traçados e instalações complementares, com indicação dos materiais das canalizações e acessórios utilizados, obedecendo às escalas a saber:
 - Plantas - 1:500;
 - Perfis - 1:500 em extensão e 1:50 em altimetria;
 - Pormenores - à escala conveniente que esclareça inequivocamente o pretendido.

Os elementos relatados têm de ser apresentados na versão original, fazendo-se acompanhar de mais duas cópias. Quanto às peças escritas, estas deverão ser impressas em A4, ordenadas e assinadas em todas as folhas pelo responsável do projeto. As peças desenhadas devem ser apresentadas, em tela plástica, com configurações e dobragem descritas nas Normas Portuguesas NP48 e NP49, não ultrapassando o formato A0. Os caracteres alfanuméricos devem cumprir a Norma Portuguesa NP89.

Quaisquer desenhos devem apresentar legenda no canto inferior esquerdo, seguindo a Norma Portuguesa NP204 e integrando, pelo menos, a informação relativamente à designação e local da obra fazendo referência se é uma obra nova, uma remodelação ou uma ampliação; identificação do proprietário; identificação, qualificação e assinatura do autor do projeto; número do desenho, descrição, escalas e data da sua realização; especificação caso se trate de um projeto de alteração ou aditamento e legenda da simbologia utilizada nas redes (Medeiros 2005).

2.3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

A fase que sucede o traçado da rede é o cálculo hidráulico, seguindo as regras e normas em vigor. Neste ponto serão sintetizados os critérios gerais e a metodologia usada na presente dissertação referente ao dimensionamento de redes domiciliárias de distribuição de água fria, recorrendo à regulamentação em vigor (Decreto Regulamentar n°23/95, de 23 de agosto de 1995) e as regras de boa prática e manuais que facilitam a esclarecimento de dúvidas onde a regulamentação não for clara.

Previamente a iniciar-se este processo, é necessário, por um lado, reunir os requisitos do município em questão para garantir que estes são cumpridos, e por outro, fazer uma verificação e validação dos parâmetros fornecidos para a execução do sistema de abastecimento de água. Posteriormente, os parâmetros de dimensionamento poderão ser calculados, em particular o caudal de cálculo, o diâmetro das condutas, as perdas de carga e a verificação das pressões. A correta aplicação dos cálculos para este dimensionamento acarreta conhecimento de algumas prescrições de índole técnico-regulamentar, assim como uma metodologia apropriada para se garantir um desempenho satisfatório da rede.

É importante começar por ter presente o artigo 94º do RGSPDADAR (RGSPDADAR 1995) onde define que parâmetros a ter em conta para o dimensionamento:

- Caudais de cálculo;
- Velocidades (deverão variar entre 0,5 m/s e 2,0 m/s);
- Rugosidade do material;
- Pressões mínimas de serviço nos ramais de alimentação com fluxómetros para bacias de retrete, às quais correspondem aos diâmetros mínimos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores dos diâmetros mínimos, correspondes aos valores de pressão presentes nos ramais de alimentação de fluxómetros, para bacia de retrete (RGSPDADAR 1995)

Pressão (kPa)	Diâmetro (mm)
200	25
80	32
50	40

2.3.1. CAUDAL DE CÁLCULO

Para se proceder ao cálculo dos caudais de cálculo é necessário ter presente qual o tipo e o número de dispositivos existentes em cada fogo. O RGSPDADAR disponibiliza uma tabela com os respetivos caudais instantâneos para cada dispositivo, Tabela A.1 (Anexo II). Os caudais instantâneos são os caudais mínimos que deverão chegar a cada dispositivo de utilização, tendo em conta as suas especificações. Os valores a utilizar são os apresentados na Tabela A.1 do Anexo II, tirando nas situações em que os fabricantes do respetivo equipamento recomendem valores superior aos definidos na tabela (Pedroso 2000).

A partir dos caudais instantâneos (Q_i) conseguimos obter os caudais acumulados (Q_a), que resultam do somatório dos caudais instantâneos, de acordo com a Equação 1:

$$Q_a = \sum Q_i \quad (1)$$

Tendo em consideração a improbabilidade de, no mesmo edifício, todos os dispositivos de utilização instalados entrarem em funcionamento ao mesmo tempo, os caudais de cálculo (Q_c) que auxiliam o dimensionamento das canalizações, não se traduzem unicamente pelo caudal de acumulado (Q_a), mas sim por este afetado por um coeficiente que expressa a probabilidade desse acontecimento, designado por coeficiente de simultaneidade (x). Traduzindo assim, na Equação 2:

$$Q_c = Q_a \cdot x \quad (2)$$

Existem três métodos distintos, por meio gráfico ou analítico, para o cálculo dos coeficientes de simultaneidade:

- Método do cálculo das probabilidades;
- Método do coeficiente de simultaneidade (x);
- Método preconizado pelo regulamento português.

Focando nos dois métodos mais utilizados tem-se então, o método do coeficiente de simultaneidade, onde a informação necessária para o seu cálculo é, o número de dispositivos considerados em funcionamento (N), representado na Equação 3:

$$x = \frac{1}{\sqrt{N-1}} \quad , \text{ se } N > 2 \quad (3)$$

É de referir que no caso geral de unidades hoteleiras, o coeficiente de simultaneidade (x) admitido quer por via gráfica que pela fórmula atrás referida, poderá ser incrementado por um coeficiente na ordem de 1,25 (Pedroso 2000).

Na Figura A.3 do Anexo I podemos ver o gráfico onde estão relacionados os valores do coeficiente de simultaneidade (x) e o total do número de dispositivos instalados.

Analisando o método preconizado pelo regulamento português, concluímos que recorre ao Método de Delebecque, método gráfico que nos permite a obtenção direta dos caudais de cálculo (Q_c) a partir do caudal acumulado (Q_a), relação esta que se reflete em 3 curvas consoante o nível de conforto pretendido: mínimo, médio ou elevado. Considerando um nível de conforto médio para os casos correntes de habitação (RGSPDADAR 1995), obtemos a seguinte Equação 4 a partir em função da Tabela 2:

$$Q_c = w \cdot Q_a^x, \quad y \geq Q_a > z \text{ (L/s)} \quad (4)$$

Tabela 2 - Coeficientes correspondentes aos diferentes níveis de conforto (Pedroso 2000)

	y	z	w	x
	0,0	3,5	0,5099	0,5092
Conforto mínimo	3,5	25,0	0,4944	0,5278
	25	500	0,2230	0,7561
	0,0	3,5	0,5469	0,5137
Conforto médio	3,5	25,0	0,5226	0,5364
	25	500	0,2525	0,7587
	0,0	3,5	0,6015	0,5825
Conforto elevado	3,5	25,0	0,5834	0,5872
	25	500	0,3100	0,7750

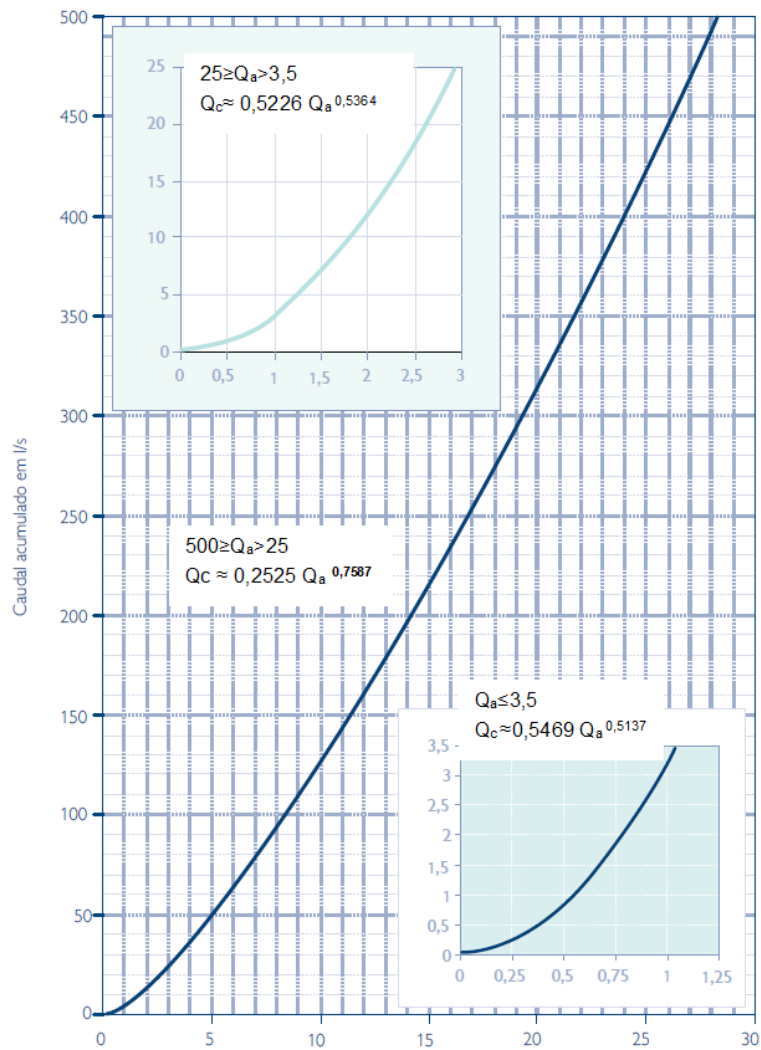


Figura 2 - Caudais de cálculo, em função dos caudais acumulados (nível de conforto médio) (EPAL 2011)

Refira-se que o criador deste método (Delebecque) não forneceu qualquer informação sobre as curvas concebidas, pelo que ao longo destes anos, a aquisição das equações matemáticas teve que ser realizada, através de ajustes da curva a diferentes tipos de equações. Estas equações a que se recorre hoje em dia refletem o comportamento da curva com uma percentagem de certeza superior a 99% (Sá 2012).

No caso de termos equipamentos com fluxómetros, dispositivos de alimentação com caudal controlado e de fecho automático, à expressão do cálculo do caudal de cálculo (Q_c) acresce uma parcela relativa a estes equipamentos. Ou seja, soma-se o caudal dos equipamentos com fluxómetro, que resulta do produto do número de fluxómetros considerados(n), deduzidos a partir da Tabela 3 e o caudal instantâneo atribuído aos fluxómetros (Q_{if}). Estes princípios encontram-se explanados na Equação 5:

$$Q_c = x \cdot Q_a + n \cdot Q_{if} \quad (5)$$

Tabela 3 - Simultaneidade de fluxômetros instalados (Paixão 1999)

Número de fluxômetros instalados	Número de fluxômetros em utilização (n)
1 e 2	1
3 a 10	2
11 a 20	3
21 a 50	4
> 50	5

2.3.2. CÁLCULO DO DIÂMETRO E PERDAS DE CARGA

2.3.2.1 Cálculo do diâmetro

A Equação 6 abaixo apresentada tem por nome "equação da continuidade" com a qual é possível fazer uma estimativa (Equação 7) do diâmetro mínimo (D), usando valores das características da água, especificamente, o caudal de cálculo (Q_c) de acordo com o estabelecido anteriormente e a velocidade de escoamento (v) (Pedroso 2000):

$$Q = v \cdot S \quad (6)$$

Sendo que:

$$D = \sqrt{\frac{4000 \cdot Q_c}{\pi \cdot v}} \quad (7)$$

Por dedução temos ainda:

$$v = \frac{4000 \cdot Q_c}{\pi \cdot D^2} \quad (8)$$

Sendo que:

D - Diâmetro (mm)

Q_c - Caudal de cálculo (L/s)

v - Velocidade do escoamento (m/s)

Visto que o caudal de cálculo já foi calculado, faltam apenas duas incógnitas na Equação 5, o diâmetro interno das condutas e a velocidade de escoamento. O RGSPDADAR, apresenta valores de velocidade de escoamento compreendido entre os 0,5 e 2,0 m/s de acordo com o material das tubagens, sendo aconselhado o intervalo entre 0,8 e 1,2 m/s, visto que a velocidade de escoamento deverá ser

aproximadamente 1 m/s, deste modo é possível de resolver a equação da continuidade em ordem ao diâmetro (EPAL 2011).

Obtido o valor do diâmetro mínimo considerado avança-se para a escolha do diâmetro interno das condutas e para a escolha do material adequado para a tubagem, tendo em consideração o nível de conforto pretendido e a manutenção da qualidade da tubagem. Estando o diâmetro estimado, este deverá ser o valor imediatamente acima do diâmetro mínimo, é necessário, proceder à verificação da velocidade de escoamento exigida pelo RGSPDADAR para o diâmetro selecionado, recorrendo à Equação 6.

2.3.2.2. Cálculo das perdas de carga

Quando há deslocação de um fluido no interior de uma tubagem, ocorre atrito deste fluido com as paredes internas da mesma, acontece também uma turbulência do fluido com ele próprio, o que provoca uma diminuição de pressão gradual no interior do tubo que designamos por perdas de carga (Medeiros 2007). Estas podem ser abordadas de duas formas distintas, quando sucedem devido às propriedades e dimensões do material integrante das redes, estas são designadas por perdas de carga contínuas e quando se verificam por consequência de uma interrupção de cota, de direção ou até a existência de dispositivos ou derivações, estas denominam-se de perdas de carga localizadas.

As perdas de carga de uma rede estão intimamente relacionadas com os caudais de cálculo, com o tipo e dimensões da conduta. Com base nestes propósitos surgiram algumas expressões que permitem o cálculo das perdas de carga contínua e do respetivo fator de resistência (f), focando nas mais usadas, temos as seguintes expressões (Pedroso 2000):

Expressão *Flamant*:

$$J = 4b \cdot v^{7/4} \cdot D^{-5/4} \quad (9)$$

Sendo que:

- J - perda de carga (m\m)
- b - fator caracterizador da rugosidade do material
- v - velocidade do escoamento (m/s)
- D - diâmetro (m)

Expressão de *Darcy e Weisbach*:

$$J = f \cdot \frac{v^2}{D \cdot 2g} \quad (10)$$

Onde:

- J - perda de carga (m/m)
- f - fator de resistência
- v - velocidade do escoamento (m/s)
- D - diâmetro da tubagem (m)
- g - aceleração da gravidade (m/s²)

O fator de resistência (f) pode ser calculado a partir do recurso às seguintes expressões, apresentando como exemplos as de *Colebrook e White* e *Haaland*. Apesar de maior rigor, a Fórmula de *Colebrook e*

White, devido à sua maior dificuldade de aplicação, é mais utilizada para fins físicos, sendo menos aplicável no dimensionamento de condutas. Sendo que, para dados no domínio considerado para este tipo de aplicação, as fórmulas simplificadas dão resultados com grau de aproximação suficiente.

Fórmula de *Colebrook e White*:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (11)$$

Fórmula de *Haaland*:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{\text{Re}} \right] \quad (12)$$

Sendo:

- f - fator de resistência
- D - diâmetro da tubagem (m)
- ε - Rugosidade absoluta (mm)
- Re - número de Reynolds

A fórmula de *Haaland* permite a determinação direta do fator de resistência (f) sem significante margem de erro relativamente à de *Colebrook e White*.

Sendo que a expressão, das aqui enumeradas, mais aplicada em abastecimento predial é a de *Flamant* [Equação 7] e a de *Darcy e Weisbach* [Equação 8] mais utilizada em abastecimento público (Batista 2011).

Relativamente às perdas de carga localizadas, o cálculo pode ser realizado recorrendo a um método simplificado em que se define o valor das perdas de carga localizadas como uma percentagem das perdas de carga contínuas, ou pode ser feito pela contabilização de todas as perdas localizadas existentes, Método dos Comprimentos Equivalentes. Normalmente o processo utilizado é o método simplificado que evita uma avaliação exaustiva de todas as perdas de carga localizadas, permitindo uma estimativa direta do valor das mesmas. Por norma, a percentagem de perda de carga contínua a ser considerada, para o cálculo das perdas localizadas, ronda os 20% (Pedroso 2000). Assim se apresenta:

$$J_{\text{localizada}} = 0,2 \cdot J_{\text{contínua}} \quad (13)$$

$$J_{\text{total}} (\Delta H_T) = 1,2 J_{\text{contínua}} \cdot L \quad (14)$$

Sendo:

- $J_{\text{localizada}}$ - perda de carga localizada (m/m)
- $J_{\text{contínua}}$ - perda de carga contínua (m/m)
- L - comprimento da tubagem (m)

Abordando as perdas de carga localizadas, para as situações em que se identifique a ocorrência de singularidades demasiado significativas, em comparação com as dimensões da rede, estas perdas podem ser calculadas a partir do Método dos Comprimentos Equivalentes, sendo este baseado no princípio de que cada singularidade causa uma perda de carga igual à que provocaria um determinado comprimento de tubagem com o mesmo diâmetro. No manual do LNEC é possível consultar os quadros XLI e XLII onde reproduzem, em metros, os valores dos comprimentos equivalentes, para perdas de carga localizadas de tubagem de aço galvanizado, de cobre e PVC rígido. É possível ainda calculá-las a partir da expressão:

$$J_1 = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (15)$$

Onde:

J_1 - perda de carga (m/m)

v - velocidade do escoamento (m/s)

g - aceleração da gravidade (m/s²)

ζ - coeficiente que depende da geometria da singularidade, do número de Reynolds e de determinadas condições do escoamento

A determinação, do coeficiente, ζ , é obtida experimentalmente (Pedroso 2000).

2.3.3. VERIFICAÇÃO DAS PRESSÕES

Relativamente às pressões o RGSPDADAR, no “TÍTULO III Sistemas de distribuição predial de água”, “CAPÍTULO II Concepção geral”, artigo 87º faz a seguinte referência:

“2 – As pressões de serviço nos dispositivos de utilização devem situar-se entre 50 kPa e 600 kPa, sendo recomendável, por razões de conforto e durabilidade dos materiais, que se mantenham entre 150 kPa e 300 kPa.” (RGSPDADAR 1995)

Como tal, é necessário fazer a verificação das pressões para os dispositivos de utilização ao longo da rede, após o seu dimensionamento. Para isso recorreremos à Equação 16, deduzida a partir do Teorema de Bernoulli, para calcularmos a pressão num ponto através da pressão num outro ponto. Sabidas as perdas de carga totais no troço de tubagem que leva a rede pública até ao ponto x considerado, a pressão disponível nesse ponto é:

$$P_x = P_d - Z_n - \Delta H_T \quad (16)$$

Sendo que:

P_x - pressão disponível no ponto considerado (m.c.a.)

P_d - pressão disponível na rede pública de distribuição, à entrada do edifício (m.c.a.)

Z_n - diferença de cota entre o ponto x e a rede pública de distribuição (m)

ΔH_T - perdas de carga totais (m.c.a.)

Por fim, depois do cálculo dos valores de pressão nos pontos críticos, faz-se a verificação desses valores com os valores regulamentados no RGSPDADAR, se os valores obtidos estiverem entre o intervalo de

pressões definido, o dimensionamento fica concluído, se tal não se verificar, terá de se proceder à alteração de diâmetro, inevitavelmente, até se obter valores de pressão aceitáveis (ver Figura 3).

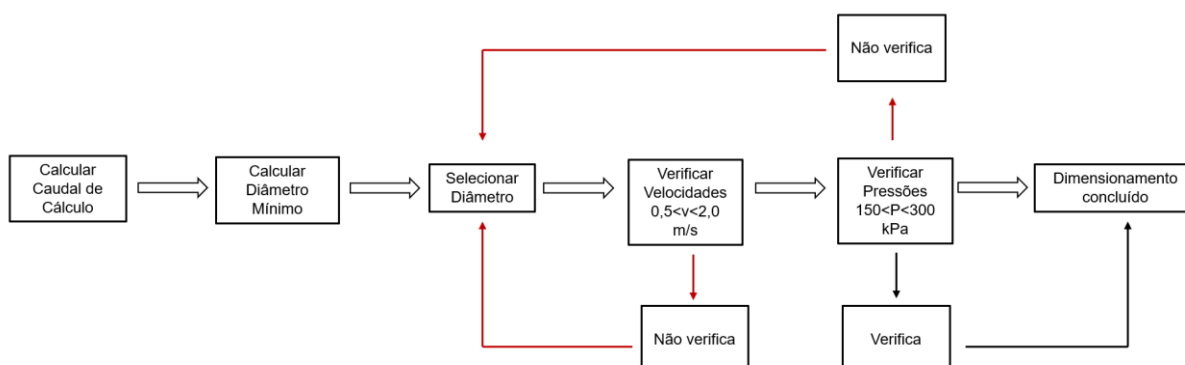


Figura 3 - Processo de dimensionamento

2.4. INTERNATIONAL PLUMBING CODE - IPC

O *International Plumbing Code* (IPC) surge do reconhecimento a nível internacional da necessidade de se elaborar um manual de sistemas de canalização atualizado que aborde o projeto e instalação de sistemas baseados em requisitos que potenciem o seu desempenho. Embora o IPC não seja utilizado em Portugal, é necessário compreender os pontos de contacto entre este regulamento e o português, na medida em que o IPC é o regulamento utilizado na aplicação BIM em análise, o Revit. O objetivo passa por analisar se existe a possibilidade de assumir alguns dos pressupostos ao nível dos coeficientes de segurança, conforto e dimensionamento do IPC em operações de cálculo e dimensionamento de redes prediais de abastecimento de água fria que verifiquem as disposições regulamentares portuguesas. Com esta análise, deverá ser possível compreender que alterações às ferramentas e fluxos de trabalho predefinidos será necessário implementar para ser possível obter uma metodologia adequada à realidade portuguesa.

A primeira edição do IPC foi lançada em 1995 e refletiu o trabalho iniciado em 1994 por um comité de desenvolvimento nomeado pelo *International Code Council* (ICC), onde faziam parte 3 membros, um de cada entidade mencionada, *Building Officials and Code Administrators International* (BOCA), *International Conference of Building Officials* (ICBO) e *Southern Building Code Congress* (SBCC). Este código baseia-se em princípios destinados a estabelecer disposições coerentes no âmbito de sistemas de canalizações que proteja adequadamente a saúde pública, a segurança e o bem-estar, tendo em conta disposições que não aumentem desnecessariamente os custos de construção, disposições que restrinjam a utilização de novas matérias-primas, produtos ou métodos de construção.

O IPC é um código que regula o projeto e a instalação de sistemas de canalização incluindo todos os edifícios com exceção de residências unifamiliares e moradias que não ultrapassem 3 andares. Estas situações são contempladas no *International Residential Code* (IRC). O IPC engloba os regulamentos gerais de canalizações, os requisitos de instalações, os sistemas de aquecimento e distribuição de água, drenagem sanitária e pluvial, resíduos especiais, ventilação e gases medicinais. Por sua vez não contempla, os sistemas de canalização de gás, os sistemas de canalização de piscinas, entre outros. O seu objetivo é estabelecer o nível mínimo aceitável de segurança para proteger a vida e a propriedade dos potenciais perigos associados ao abastecimento de água potável, a instalações e pontos de

distribuição e ao transporte de águas residuais que incorporam os resíduos provenientes dos equipamentos.

O IPC está dividido em 15 capítulos e anexos de A-E, o capítulo mais relevante para esta dissertação é o capítulo 6 cujo título é “Abastecimento e distribuição de água”. Este capítulo retrata o abastecimento de água potável a partir de fontes públicas ou privadas para o abastecimento da rede e respetivas descargas de modo a evitar que este sistema seja contaminado, incluindo as disposições que têm de ser cumpridas para os equipamentos funcionarem em pleno. O foco será no anexo E, pois, é neste anexo onde se encontram as tabelas relevantes para interpretarmos o processo de cálculo que é estabelecido no Revit 2019. São mencionados dois métodos para dimensionar o serviço de abastecimento de água, um pelo método descrito na secção E103, que nos fornece tabelas com a indicação dos valores de caudal definidos para cada dispositivo (Tabela A.2 Anexo II), outra tabela onde nos indica a conversão de *fixture units* (FU) para gpm (Tabela A.3 Anexo II), considerando equipamentos com *flush tanks* e com *flush valves* e os diagramas para se obter a perda de carga. O segundo método está presente na secção E201, sendo que este é conhecido como um método conservador, no entanto não são precisos muitos cálculos para se dimensionar a rede de modo a satisfazer os requisitos.

Apresenta-se na Tabela 4 uma comparação entre os caudais instantâneos definidos no IPC e os caudais definidos no RGSPDADAR. Os caudais instantâneos dos dispositivos são definidos em *fixture units* na Tabela E103.3(2) do IPC (consultar Tabela A.3 do Anexo II). Foi considerado como fator de conversão para L/s que 1 FU = 1 gpm = 0.063 L/s (Engineering ToolBox 2018) e não os fatores de conversão da Tabela E103.3(3) do IPC de modo a serem desprezados os fatores de simultaneidade para os caudais instantâneos, de forma análoga aos critérios do RGSPDADAR.

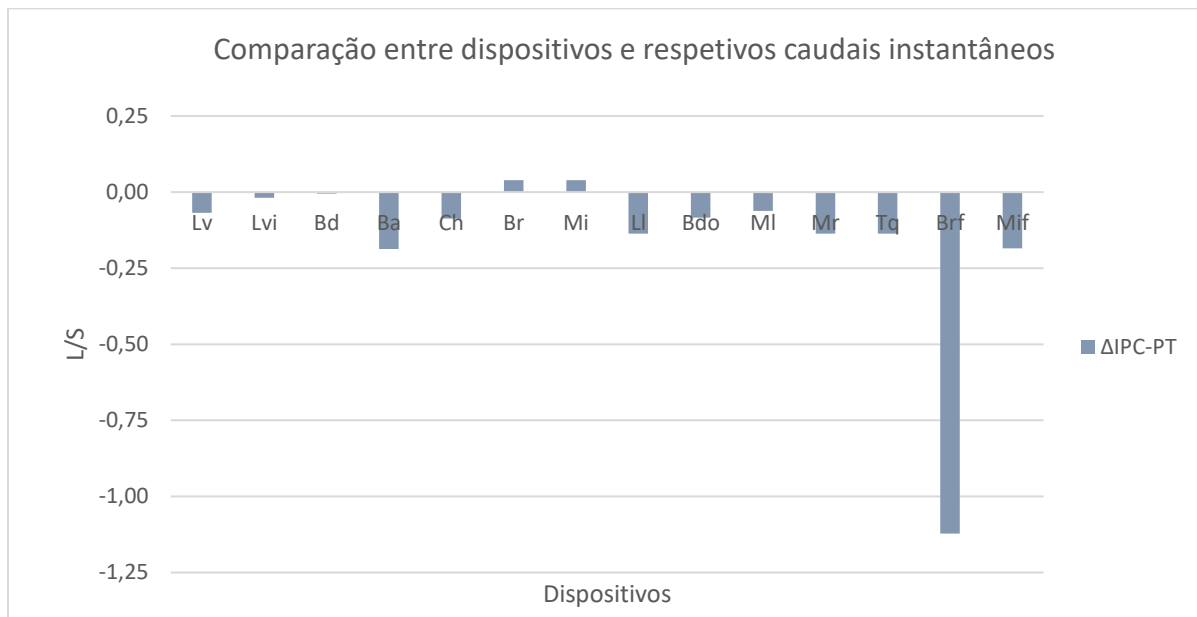
Pela análise da última coluna da tabela é possível ver que, no geral, as diferenças entre os dispositivos não são significativas, à exceção de alguns casos como a banheira, a pia lava-louça, as máquinas de lavar a roupa e a louça e dispositivos com fluxómetro. É necessário salvaguardar o facto de os equipamentos standard em Portugal apresentarem características diferentes dos equipamentos standard nos Estados Unidos.

Tabela 4 - Comparação dos caudais instantâneos de cada equipamento entre o regulamento português e o IPC

Dispositivos de utilização	Abreviatura	Q _{inst PT} [L/s]	Fixture units [CWFU]	Q _{inst IPC} [L/S]	ΔIPC-PT [L/s]
Lavatório individual	Lv	0,10	0,50	0,03	-0,07
Lavatório coletivo (por bica)	Lvi	0,05	0,50	0,03	-0,02
Bidé	Bd	0,10	1,50	0,09	-0,01
Banheira	Ba	0,25	1,00	0,06	-0,19
Chuveiro individual	Ch	0,15	1,00	0,06	-0,09
Autoclismo de bacia de retrete	Br	0,10	2,20	0,14	0,04
Urinol com torneira individual	Mi	0,15	3,00	0,19	0,04
Pia lava-louça	LI	0,20	1,00	0,06	-0,14
Bebedouro	Bdo	0,10	0,25	0,02	-0,08
Máquina de lavar louça	MI	0,15	1,40	0,09	-0,06
Máquina de lavar roupa	Mr	0,20	1,00	0,06	-0,14

Dispositivos de utilização	Abreviatura	Qinst PT [L/s]	Fixture units [CWFU]	Qinst IPC [L/S]	Δ IPC-PT [L/s]
Tanque de lavar roupa	Tq	0,20	1,00	0,06	-0,14
Bacia de retrete com fluxómetro	Brf	1,50	6,00	0,38	-1,12
Urinol com fluxómetro	Mif	0,50	5,00	0,32	-0,18

Figura 4 - Comparação entre os dispositivos e respetivos caudais instantâneos



3

ANÁLISE DE PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO EM SOFTWARE BIM

3.1. BIM - APLICABILIDADE DO MODELO VIRTUAL

A metodologia *Building Information Model* (BIM) está entre os desenvolvimentos mais promissores no sector de atividade AEC, assumindo-se como uma das mais relevantes transformações que esta indústria está a empreender nas últimas décadas. É um processo integrado de gestão de informação das várias vertentes do projeto, construção e operação, pelo que proporciona um fluxo organizado de informação entre os diferentes intervenientes. Um modelo BIM não representa somente uma componente tridimensional do protótipo digital, a sua potencialidade está na base de dados interna onde é estruturada a informação do projeto e com a qual é possível interagir de diversas formas. O acesso direto à informação da base de dados permite, por um lado, agilizar consideravelmente o processamento, compilação e extração consistente de dados do projeto, e por outro, a programação de rotinas para automatizar processos de modelação e introdução de dados, ambos aspetos importantes para o aumento da produtividade e consistência dos resultados obtidos (bimTEC 2018).

Atualmente existe já um conjunto de funcionalidades características das ferramentas BIM que já se encontram suficientemente difundidas e utilizadas pela generalidade das empresas que utilizam a metodologia para serem consideradas funcionalidades correntes, em particular, a utilização dos modelos para extração de desenhos e quantidades, e para operações de coordenação virtual e cálculo (ver Figura 5). Para além destas, existe um conjunto de funcionalidades complementares com aplicação na fase de projeto, construção e operação.

De forma análoga, existe um conjunto de ferramentas de modelação que se destacam das restantes pelos níveis de adoção registados na indústria, com o software Autodesk Revit a assumir principal destaque em Portugal e no que às Engenharias diz respeito. Outras aplicações de relevo incluem o ArchiCAD da Graphisoft, o Tekla da Trimble, o Vectorworks e o Allplan da Nemtescheck e o AECOSim da Bentley. Conforme referido anteriormente e devido ao enquadramento empresarial associado ao desenvolvimento da presente dissertação, será dado particular destaque ao Revit enquanto ferramenta a analisar no âmbito da aplicação ao desenvolvimento de projetos de abastecimento de águas.



Figura 5 - Representação esquemática de algumas potencialidades da modelação virtual

A criação de modelos, em particular para as instalações, traz bastantes benefícios a nível de coordenação de projetos, na medida em que antecipa a análise de muitos dos problemas que tipicamente só seriam detetados em fase de execução. A criação de modelos de instalações para efeitos de coordenação, obriga, contudo, a um esforço de modelação e definição do projeto superior quando comparado com um processo de desenvolvimento de projeto de execução segundo uma metodologia tradicional baseada em formatos 2D. Sendo difícil justificar do ponto de vista financeiro a criação paralela e desligada dos desenhos de projeto em formato 2D e do modelo BIM para coordenação, será na junção destas vertentes com a componente de cálculo, análise e dimensionamento num único modelo que se poderá vir a beneficiar verdadeiramente da utilização da metodologia BIM aplicada ao desenvolvimento do projeto.

3.2. PRODUÇÃO AUTOMÁTICA DE DESENHOS DE PROJETO

A produção de desenhos de projetos de instalações a partir de modelos BIM não é um processo tão linear para os projetos de instalações como para os projetos de arquitetura e estruturas. Tomando o exemplo dos projetos de abastecimento de águas, uma modelação compatível com um modelo de coordenação deveria considerar o traçado das redes tal como construído, isto é, com a tubagem de água fria e a tubagem de água quente alinhadas entre si em planta, considerando apenas um espaçamento vertical entre ambas. Este tipo de modelação seria incompatível com os requisitos de modelação para a extração de desenhos de projeto na medida em que a tubagem apareceria sobreposta. Esta limitação pode ser ultrapassada através da introdução de um ligeiro desfasamento dos traçados em planta de modo a que estes deixem de estar sobrepostos. Ainda assim, numa situação em que a tubagem se encontra embutida numa parede, o traçado continuaria a encontrar-se dentro da parede, o que não condiz necessariamente com a forma mais corrente de representação dos traçados em planta, que indicam apenas a orientação dos traçados e não a sua localização exata em planta. Posto isto, referente à especialidade de projeto de redes prediais de abastecimento de água, é conclusivo que será necessário fazer alguns compromissos relativamente à representação tradicional e encontrar algumas alternativas de representação da tubagem. De modo a ilustrar as questões aqui abordadas, na Figura 6 está presente parte de uma representação tradicional de um projeto de abastecimento de água.

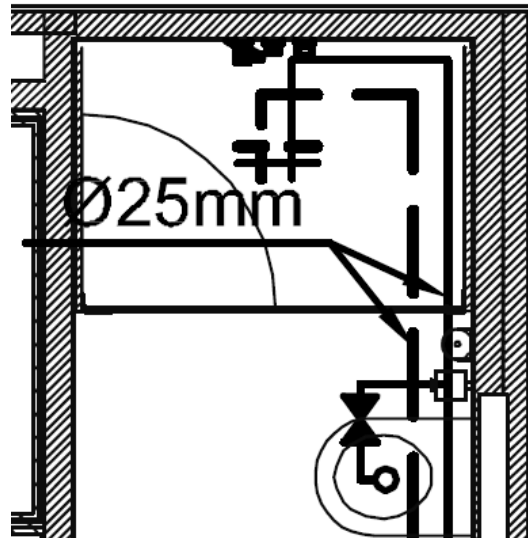


Figura 6 - Exemplo da representação tradicional de um projeto de redes prediais de abastecimento de água

Na Figura 7 são representadas as redes de abastecimento de água fria (a linha contínua) e a rede de abastecimento de água quente (a linha tracejada). A representação automática destas redes num modelo BIM obrigaria à sua modelação fora das paredes, o que reduziria a viabilidade da utilização do modelo para efeitos de coordenação.



Figura 7 – Representação diretamente a partir do modelo de coordenação (esquerda). Representação automática de desenhos conforme tradicionalmente representado (direita).

3.3. CÁLCULO HIDRÁULICO

Algumas aplicações de modelação BIM já incluem ferramentas de cálculo e dimensionamento das redes hidráulicas. Um exemplo é o software CYPE que integra inclusivamente o regulamento português e permite fazer integralmente a componente de dimensionamento da rede dentro dos parâmetros definidos no programa. Esta não é, no entanto, uma verdadeira aplicação BIM, na medida em que não permite uma modelação tridimensional “livre” como as aplicações tipicamente mais conotadas com a metodologia, como o Revit.

O Revit integra igualmente um motor de cálculo de redes de abastecimento de águas, permitindo calcular caudais, velocidades e perdas de carga, e gerar o respetivo relatório de cálculo, organizado por segmento da rede. Este motor de cálculo encontra-se configurado de acordo com as especificações e critérios de dimensionamento do *International Plumbing Code* (IPC), o que, desde logo constitui um entrave à aplicação direta do software para o cálculo e dimensionamento de projetos de acordo com as exigências portuguesas. Alguns dos parâmetros de cálculo podem ser personalizados, no entanto, há critérios gerais que afetam todo o processo que não podem ser alterados e que inviabilizam a aplicação direta do Revit no cálculo e dimensionamento de redes prediais de abastecimento de águas de acordo com o regulamento português.

O principal problema relativamente ao dimensionamento recorrendo ao Revit é o facto de este não considerar os coeficientes de simultaneidade como definidos no regulamento português, em nenhuma das suas configurações disponíveis. Como será analisado com mais detalhe na subcapítulo subsequente, a única configuração que integra um coeficiente de simultaneidade é recorrendo à configuração *Fixture Units* que se regula pelo IPC. Este será analisado de modo a perceber a sua razoabilidade em integrar os seus pressupostos de cálculo aos projetos portugueses e de que forma podem ser integrados no Revit. A única forma de influenciar o valor do caudal de cálculo no Revit é ao nível da definição dos caudais instantâneos dos dispositivos a integrar no modelo. Ao intervir a esse nível será possível influenciar indiretamente os valores dos caudais de cálculo pertencentes aos ramais de distribuição e ligação, ainda que não seja possível obter os caudais exatos para toda a tubagem.

Ao longo desta dissertação serão propostas duas abordagens possíveis, uma recorrendo à definição de unidades *fixture units* que se processa exclusivamente pelo motor de cálculo do Revit e outra, pela definição direta dos caudais, que completa o modelo Revit com um motor de cálculo externo.

3.4. SOFTWARE DE MODELAÇÃO BIM- REVIT MEP

3.4.1. PRINCÍPIOS GERAIS

Desenvolvido pela Autodesk, o Revit é um software de modelação BIM que integra as vertentes da Arquitetura, Estruturas e Instalações Especiais. Atualmente, é uma das principais escolhas da indústria no que diz respeito à adoção de software de modelação BIM, sendo igualmente a principal ferramenta de modelação utilizada na empresa onde se enquadra o desenvolvimento da presente dissertação.

Os projetos de redes prediais enquadram-se na componente de sistemas *Mechanical, Electrical and Plumbing* (MEP), nomeadamente, instalações mecânicas, elétricas e hidráulicas. Apesar da presente dissertação incidir sobre os sistemas hidráulicos, vários dos conceitos abordados são análogos ou mesmo semelhantes para os restantes sistemas.

As ferramentas de modelação do Revit encontram-se agrupadas de forma temática no separador “*Systems*” por tipo de sistema MEP, de modo a que as ferramentas de modelação de tubagem se

encontrem no grupo das funcionalidades da hidráulica, as ferramentas de modelação de condutas no grupo das funcionalidades da mecânica e assim sucessivamente.

Tal como na generalidade das ferramentas de modelação BIM mais correntes, o Revit funciona numa lógica de modelação orientada por objetos, isto é, a construção do modelo assenta na assemblagem de um conjunto de objetos que são definidos por um conjunto de entidades e funções predefinidas no código da aplicação. Os objetos geométricos do Revit são apelidados de “famílias”.

O Revit inclui ferramentas para modelação de tubos (*Pipes: Pipe Placeholder: Parallel Pipe; Flex Pipe*), ligações (*Pipe Fitting*), acessórios (*Pipe Accessory*), equipamentos e dispositivos (*Plumbing Fixture*). Estas ferramentas são operacionalizadas numa lógica de definição automática do traçado, que mediante a escolha de um conjunto de parâmetros de entrada como o material, o diâmetro e a cota dos tubos, permite definir a tubagem com todas as ligações à medida que é definido o desenvolvimento e orientação de cada segmento.

Com as ferramentas acima descritas inicia-se o procedimento de construção da rede predial de abastecimento de água. Nos edifícios existem tipicamente 3 sistemas hidráulicos a funcionar, nomeadamente o abastecimento de água fria (*Domestic Cold Water*), o abastecimento de água quente (*Domestic Hot Water*) e a drenagem de águas residuais (*Sanitary*). Mais do que a componente geométrica materializada nos objetos 3D, as redes são definidas por sistemas analíticos que introduzem a componente de cálculo. A representação gráfica dos sistemas pode ser modificada e predefinida num *template* que se enquadre nas definições de representação pretendidas. Os parâmetros de cálculo dos sistemas podem igualmente ser ajustados.

O Revit permite conceber sistemas e gerar automaticamente um traçado da rede. A geração automática do traçado permite adotar tipologias distintas predefinidas para a rede. É importante referir que o traçado sugerido não tem em conta os restantes elementos do modelo, isto é, não reconhece paredes nem pavimentos. Os traçados automáticos destinam-se meramente à criação de um primeiro esboço da rede, que posteriormente deverá ser adaptada às condicionantes do respetivo projeto.

Apresenta também funcionalidades que permitem definir a representação de linhas para tubagem sobreposta em planos diferentes, definir os ângulos permitidos nas ligações da rede e as inclinações possíveis para a tubagem.

Para além de uma ferramenta de modelação virtual, é também uma ferramenta de cálculo, sendo para tal possível introduzir gamas de materiais com as respetivas características e definir as propriedades do fluido (temperatura, viscosidade dinâmica e densidade). Relativamente às perdas de carga contínuas, o Revit tem disponíveis duas opções de cálculo, recorrendo à equação de Colebrook-White [Equação 11] ou de Haaland [Equação 12]. Em relação ao caudal, apenas disponibiliza uma opção que se baseia no IPC 2012, onde converte as *fixture units* em L/s (considerando que é esta a unidade de projeto definida para o caudal), baseado na Tabela A.3 (Anexo II).

3.4.2. CONFIGURAÇÕES DO CAUDAL

No Revit os elementos de construção são organizados numa hierarquia de classes. O modelo BIM de um edifício é constituído por instâncias de elementos de construção sendo essas instâncias organizadas numa classe (designadas Tipo) que contêm características similares. Por sua vez se agrupam em classes superiores designada por Família. O conceito de família é fundamental no Revit, sendo que cada entidade tem o poder de as adaptar às suas necessidades e criar as suas próprias famílias de projeto com as características desejadas. A forma mais sistemática de recorrer ao Revit para o cálculo hidráulico,

estando vedada a alteração do processo de cálculo nativo, é através da parametrização dos dispositivos de utilização.

Das famílias MEP fazem parte os elementos “conectores”, cuja função é estabelecer a ligação entre a geometria da família (usada para representar os dispositivos de utilização) e o sistema analítico da rede a que se encontra ligada. O mesmo elemento pode ter diferentes conectores ligados em simultâneo a diferentes redes. Nas suas propriedades é possível definir a direção do escoamento, o sistema a que pertencem, definir o método de cálculo do caudal e da perda de carga localizada. Na Figura 8 é apresentado um exemplo de uma família com os respetivos conectores e suas propriedades.

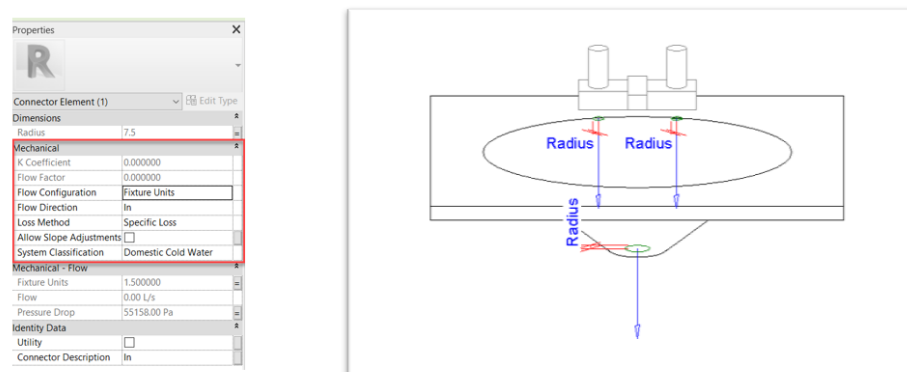


Figura 8 - Exemplo de uma família *Plumbing Fixture*

A definição do caudal instantâneo dos dispositivos no Revit faz-se a partir do conector da respetiva família, onde também é possível definir o método de cálculo do caudal (*preset* ou *fixture units*). O cálculo dos caudais acumulados é realizado automaticamente nos tubos ligados aos dispositivos, sendo calculado a partir do somatório dos caudais de montante para jusante, isto é, partindo de cada dispositivo até chegar ao tubo mais distante, que tipicamente representará o ramal de ligação. O Revit converte as *fixture units* em caudal em L/s.

3.4.2.1. Configurações: Fixture units vs Preset

O Revit é desenvolvido sobretudo com as especificações e os regulamentos de projeto americanos como referências, logo as funcionalidades de cálculo disponibilizadas não estão adaptadas para o regulamento português. O principal problema identificado no processo de dimensionamento para este enquadramento é o facto de o Revit não considerar os coeficientes de simultaneidade para o cálculo do caudal de cálculo.

O Revit soma os caudais da tubagem de montante para jusante, isto é, a partir dos caudais instantâneos definidos em cada dispositivo. Em cada interseção da tubagem, o caudal é somado de modo a que a jusante o caudal considerado seja rigorosamente igual à soma dos caudais a montante. No método de cálculo Fixture Units são somadas as unidades de utilização definidas a montante, com o valor do caudal em L/s a ser convertido a partir do somatório das *fixture units* e não a partir do somatório dos caudais obtidos para as *fixture units* dos tubos a montante.

O método de cálculo Preset, por sua vez, utiliza diretamente o valor do caudal sem introduzir coeficientes de simultaneidade, pelo que o valor do caudal em cada tubo corresponde ao somatório dos caudais em L/s dos tubos a montante. É possível aumentar o caudal de cada tubo através da introdução manual de um valor adicional para o caudal, no entanto, não é possível realizar qualquer outra operação ao caudal, o que impossibilita a aplicação de coeficientes de simultaneidade sobre o caudal dos tubos.

No método de cálculo com *fixture units* a conversão de *fixture units* para L/s no Revit define um valor mínimo unitário para as unidades de utilização de $1 \text{ FU} = 3 \text{ gpm} \approx 0,19 \text{ L/s}$, isto é, qualquer valor de *fixture unit* abaixo da unidade será convertido para $0,19 \text{ L/s}$. Isto significa que todos os tubos terão pelo menos um valor de $0,19 \text{ L/s}$. Considerando que de acordo com o regulamento português existem diversos dispositivos com caudais instantâneos inferiores a $0,19 \text{ L/s}$, existe uma probabilidade considerável da utilização deste método de cálculo resultar no sobredimensionamento da rede. O risco de sobredimensionamento é agravado pelo facto de os caudais correspondentes às unidades de utilização definidas no IPC para os dispositivos resultarem, de um modo geral, em caudais superiores aos definidos no regulamento português, como é o exemplo de uma bacia de retrete, que segundo o IPC deverá verificar $2,2 \text{ FU} \approx 0,33 \text{ L/s}$, em comparação com os $0,10 \text{ L/s}$ definidos no regulamento português.

As particularidades e diferenças entre os dois métodos de cálculo são ilustradas no exemplo seguinte:

- **Método Fixture Units:** Foram atribuídas as unidades de utilização FU definidas no IPC (ver Tabela A.2 do Anexo II) para os dispositivos seguintes: duche (1 FU), bacia de retrete (2,2 FU) e lavatório (0,5 FU). Conforme é possível verificar na Figura 9, o ramal de distribuição que alimenta os dispositivos apresenta um valor de unidades de utilização de $3,7 \text{ FU} (= 1 + 2,2 + 0,5)$ a que corresponde um caudal de $0,48 \text{ L/s}$.

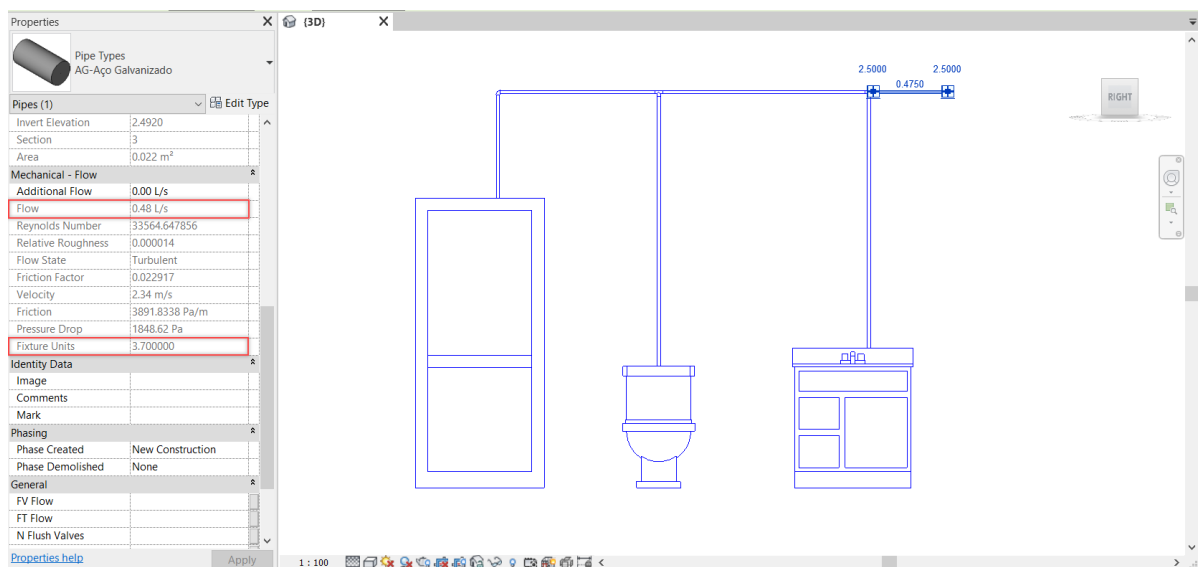


Figura 9 - Exemplo prático onde demonstra o cálculo na configuração Fixture Units

- **Método Preset:** Foram atribuídos os caudais instantâneos definidos no RGSPDADAR para os mesmos dispositivos: duche ($0,15 \text{ L/s}$), bacia de retrete ($0,10 \text{ L/s}$) e lavatório ($0,10 \text{ L/s}$). Conforme é possível verificar na Figura 10, o ramal de distribuição que alimenta os dispositivos apresenta um caudal de $0,35 \text{ L/s}$, que neste caso reflete o caudal acumulado sem coeficientes de simultaneidade, sendo ainda assim inferior ao caudal calculado a partir do método Fixture Units.

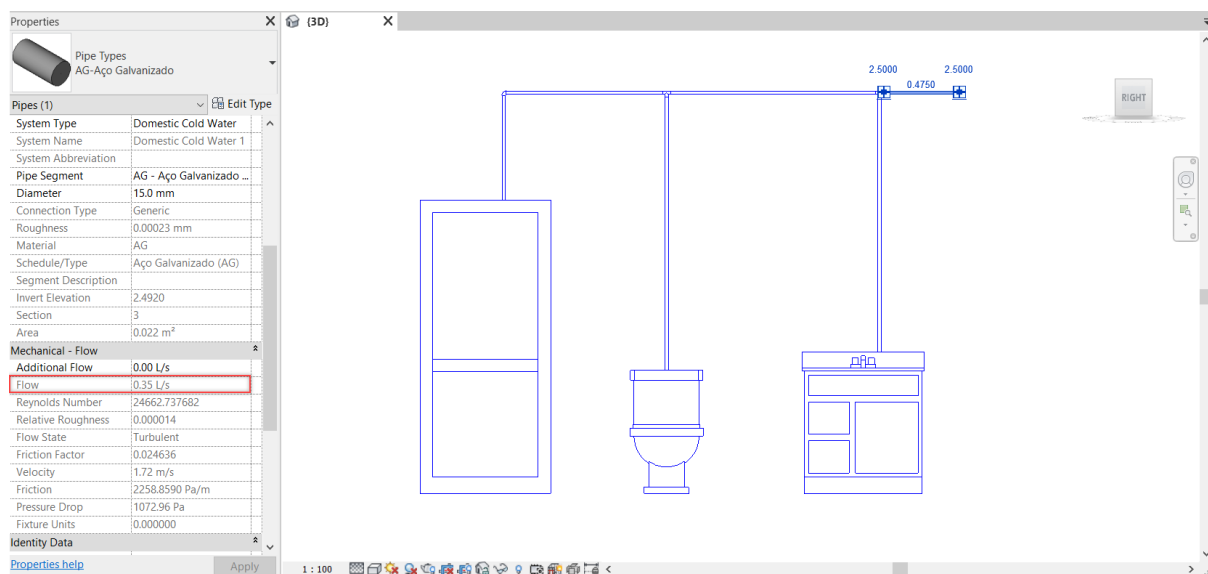


Figura 10 - Exemplo prático onde demonstra o cálculo na configuração Preset

Este exemplo ilustra o motivo de não ser possível aplicar diretamente as especificações do regulamento português no cálculo de redes de abastecimento de águas a partir do Revit. Como o método de cálculo utilizando, Fixture Units, tem em consideração fatores de simultaneidade, ainda que diferentes do regulamento português, importa perceber se é possível encontrar uma relação entre os fatores de simultaneidade do IPC integrados nas *fixture units* e os coeficientes de simultaneidade do regulamento português, o que permitiria utilizar o método Fixture Units adaptado ao RGSPDADAR.

Para analisar a relação entre os fatores de simultaneidade do IPC e os critérios do regulamento português, torna-se necessário fazer uma análise comparativa entre os caudais de cálculo obtidos a partir do IPC e os obtidos a partir do regulamento português. Para tal, pode ser considerada a tabela de conversão de *fixture units* para caudal em galões por minuto (gpm) do IPC (ver Tabela A.3 do Anexo II), na medida em que os valores dos caudais apresentados nesta tabela integram já os respetivos fatores de simultaneidade, o que permite definir desde logo um dos termos de comparação. Para a distribuição de *fixture units* da tabela podem ser determinados os caudais de cálculo segundo o método do regulamento português utilizando as fórmulas de cálculo do caudal para os diferentes tipos de conforto (mínimo, médio e elevado), conforme definido na Equação 4 e na Tabela 2. Para converter as FU em L/s sem considerar fatores de simultaneidade, isto é, obter um caudal acumulado em L/s a partir das FU, considera-se que $1 \text{ FU} = 1 \text{ gpm} \approx 0,063 \text{ L/s}$ (Engineering ToolBox 2018).

Estes princípios são traduzidos e sistematizados na Tabela A.4 do Anexo II através das variáveis seguintes:

- FU: Unidades de utilização em *fixture units*;
- Q_{IPC} (gpm): Caudal "de cálculo" do IPC resultante da conversão de FU para galões por minuto. Integra fatores de simultaneidade. Retirado diretamente da tabela E103.3(3) do IPC reproduzida na Tabela A.3 (Anexo II);
- Q_{IPC} (L/s): Conversão do Q_{IPC} (gpm) para litros por segundo (L/s);
- $Q_{a \text{ PT}}$ (L/s): Caudal "acumulado" do IPC resultante da conversão de FU para L/s utilizando o fator de conversão $1 \text{ FU} = 0,063 \text{ L/s}$. Não integra fatores de simultaneidade;
- $Q_{c \text{ PT}}$ (L/s) mínimo/médio/elevado: Caudal "de cálculo" resultante da aplicação da fórmula da Equação 4 e dos parâmetros da Tabela 2 para cada nível de conforto sobre o $Q_{a \text{ PT}}$ (L/s).

Os dados obtidos na tabela foram sistematizados no gráfico da Figura 11, onde é possível comparar as distribuições de caudais de cálculo segundo os critérios do IPC e os critérios método Delebecque, torna-se desde logo evidente o sobredimensionamento do primeiro em relação ao segundo, mesmo considerando o nível de conforto mais elevado.

Seguidamente, focando no nível de conforto médio (critério adotado no regulamento português) e procedendo à divisão entre o Q_{IPC} e o $Q_{c PT \text{ Médio}}$, é possível constatar, conforme apresentado na Figura 12, que esta relação tende para 2, isto é, uma *fixture unit* tenderá a resultar num caudal de cálculo duas vezes superior ao esperado segundo o critério do conforto médio do regulamento português. Salienta-se que esta relação apresenta uma grande variabilidade para caudais pequenos, pelo que deve ser adotada de forma ponderada, para valores de caudal reduzidos.

Tirando partido deste fator de multiplicação é possível relacionar diretamente as *fixture units* com o caudal instantâneo definido no regulamento português através da Equação 17, a seguir indicada:

$$FU = \frac{1}{\frac{0.063}{2}} \times Q_{inst PT} \quad (17)$$

A conversão direta dos caudais de cálculo para *fixture units* permite obter uma forma de aplicar o método de cálculo do IPC segundo os parâmetros regulamentares portugueses. É importante referir que a Equação 17 só pode ser aplicada ao conetor das famílias, isto é, na conversão dos caudais instantâneos em L/s para FU, visto que é a única forma de interferir com o cálculo dos caudais nos ramais de distribuição e consequentemente nos ramais de ligação.

Figura 11 - Relação entre *fixture units* e os respetivos caudais de cálculo obtidos a partir dos critérios do IPC (IPC) e dos diferentes critérios definidos no método Delebecque (PT).

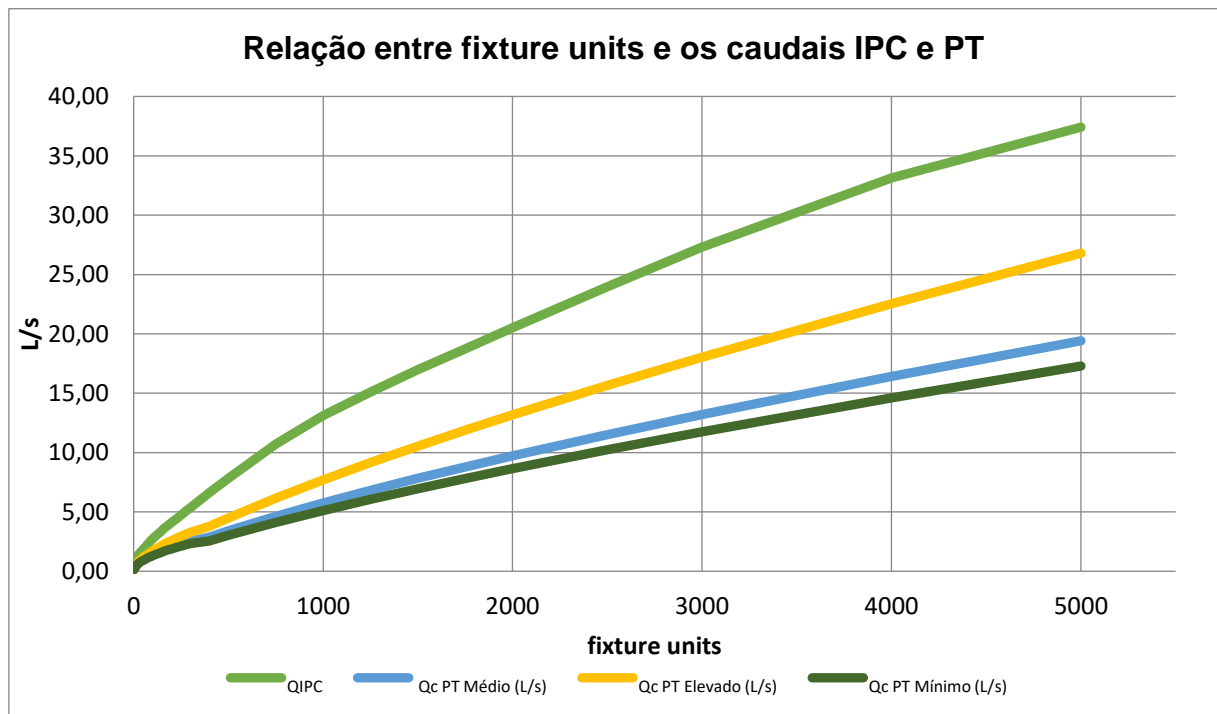
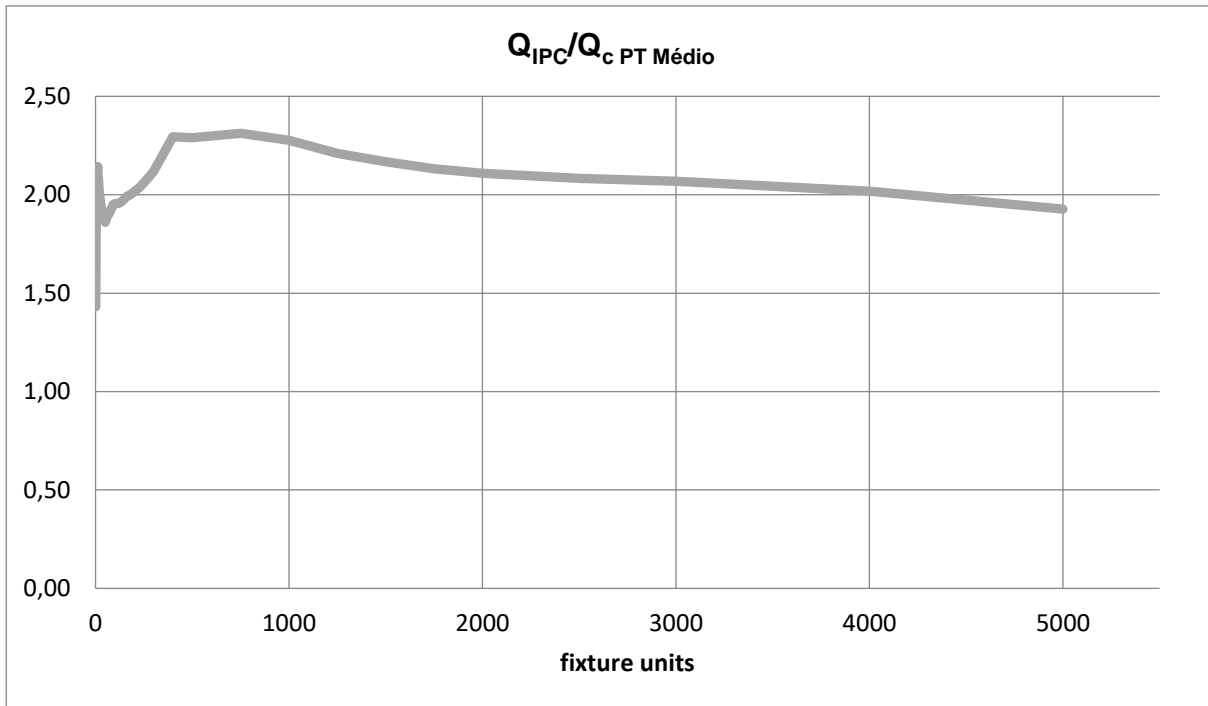


Figura 12 - Proporção entre o caudal de cálculo obtido a partir do IPC relativamente e o caudal de cálculo obtido a partir do regulamento português relativamente às respetivas *fixture units*.



3.4.3. PERDA DE CARGA

Tal como referido em 3.2, o Revit disponibiliza duas formas possíveis para o cálculo das perdas de carga contínuas, nomeadamente pela equação de Colebrook e White [Equação 11] e pela equação de Haaland [Equação 12].

O cálculo das perdas de carga localizadas no Revit é realizado com base na Equação 18 (Autodesk 2018).

$$\Delta P = k \frac{v^2 \rho}{2g \cdot 144} \quad (18)$$

Sendo:

- ΔP - Perda de carga (kPa)
- ρ - Densidade do fluido (Kg/m³)
- g - Aceleração da gravidade (m/s²)
- k - Coeficiente de resistência
- v - velocidade do escoamento (m/s)

O coeficiente de resistência “K” pode, para cada dispositivo, ser definido de uma das formas seguintes:

- *K Coefficient From Table*: o coeficiente de resistência é atribuído baseado nas normas CIBSE/ASHRAE/ Crane consoante o tipo de acessório em causa;
- *Specific Coefficient*: o coeficiente de resistência é introduzido manualmente;
- *Specific Loss*: define-se diretamente qual o valor da perda de carga a considerar
- *Use Definition On Type*: o método de cálculo do coeficiente de resistência é definido no tipo, dentro do editor de família e as diferentes configurações serão vistas no ponto a seguir;

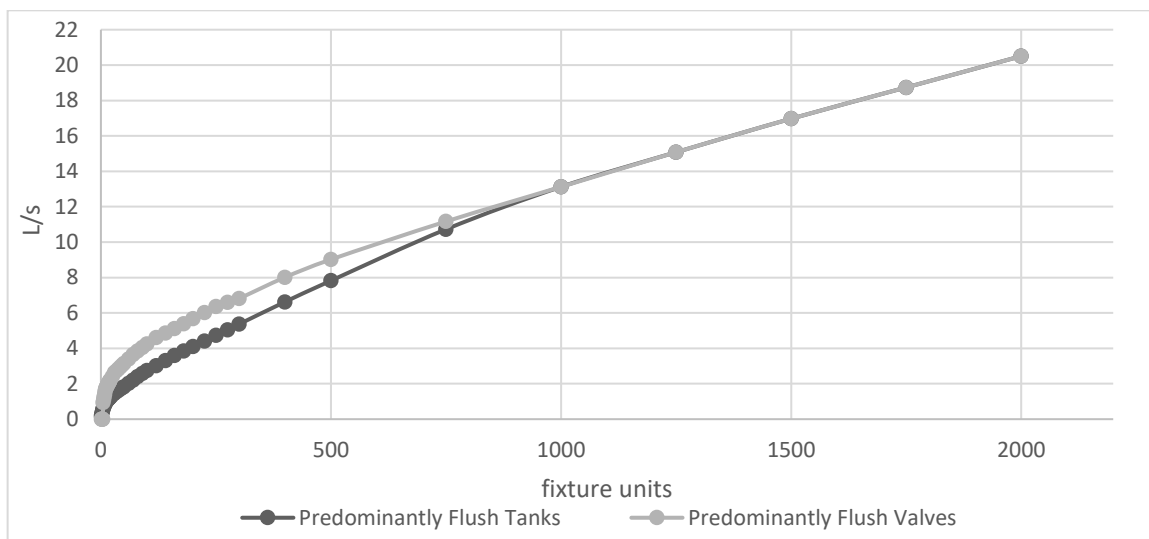
- *Not Defined*: valor da perda de carga é assumido como 0.

É importante referir que para o Revit aplicar o coeficiente da tabela ASHRAE, o acessório deve fazer parte de um sistema bem conectado com uma direção de fluxo conhecida, nos casos em que a tabela ASHARE não for aplicável o valor será igual a 0. As configurações *Specific Coefficient* e *Specific Loss* não são válidas para acessórios com mais do que 2 ligações.

3.4.4. PREDOMINANTLY FLUSH VALVES VS PREDOMINANTLY FLUSH TANKS

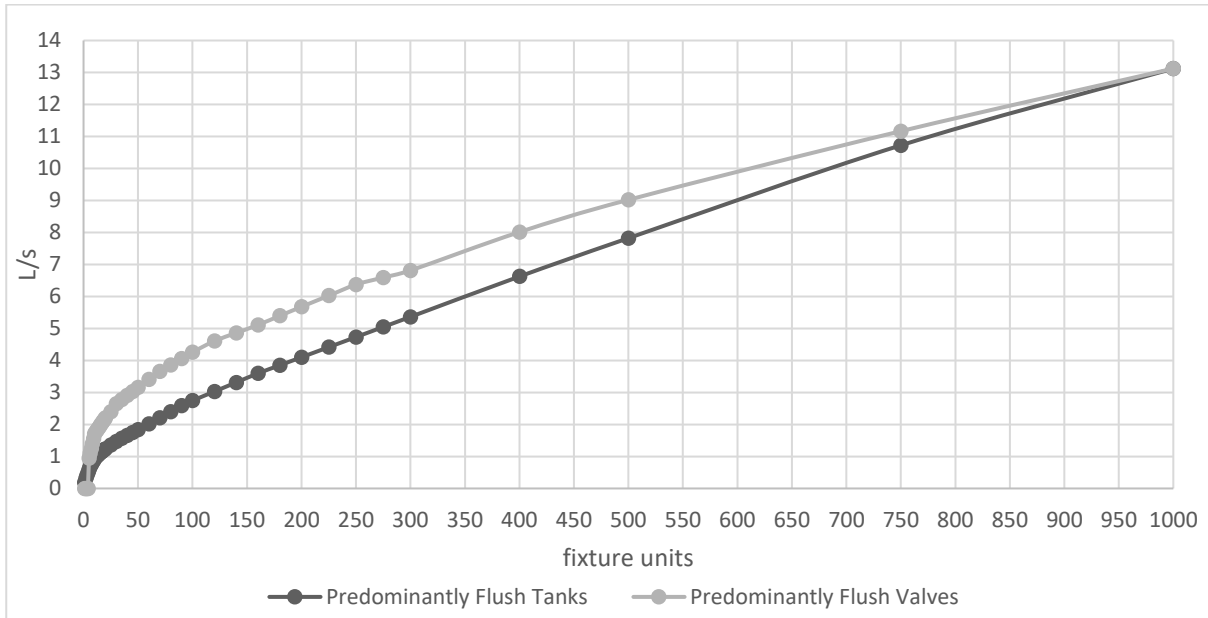
Os dispositivos com ou sem fluxómetros são distinguidos no IPC, respetivamente, como dispositivos *flush valves* ou *flush tanks*. Tal como no regulamento português, também no IPC se verifica um incremento considerável do caudal de cálculo quando existem fluxómetros. No Revit, a definição do cálculo do caudal em função da existência de fluxómetros realiza-se a partir dos sistemas analíticos através das opções “*Predominantly Flush Valves*” e “*Predominantly Flush Tanks*”, para as quais são definidos valores mínimos de *fixture units*, respetivamente, de 5 FU = 15 gpm \approx 0,94 l/s e 1 FU = 3gpm \approx 0,19 l/s.

Figura 13 - Relação entre as *fixture units* (*Predominantly Flush Tanks*) e as *fixture units* (*Predominantly Flush Valves*) e o caudal em L/s.



Como se observa no gráfico da Figura 13 a partir de um certo valor de *fixture units* a conversão entre *Predominantly Flush Tanks* e *Predominantly Flush Valves* passa a coincidir. Na Figura 14, permite observar melhor a relação entre ambas as situações, sendo visível o incremento do caudal da curva *Predominantly Flush Valves* em relação à curva *Predominantly Flush Tanks* até as 1000 *fixture units*.

Figura 14 - Relação entre as *fixture units* (*Predominantly Flush Tanks*) e as *fixture units* (*Predominantly Flush Valves*) e o caudal em L/s



O Revit não permite ter dois sistemas com diferentes tipos de configuração ligados entre si sem quebrar o cálculo do caudal. A opção *Predominantly Flush Valves* resulta no incremento do caudal em todos os troços, mesmo em segmentos específicos que não estejam a ser afetados por fluxómetros. O facto de não ser possível aplicar diferentes critérios de cálculo do caudal em função do segmento estar ou não a ser afetado por fluxómetros impossibilita a definição de uma relação entre caudal e *fixture units* de acordo com os critérios do regulamento português.

3.5. FUNCIONALIDADES IMPORTANTES PARA O DIMENSIONAMENTO

O Revit oferece um conjunto de funcionalidades úteis para apoio ao dimensionamento de um projeto de redes prediais de abastecimento de água. Entre elas encontram-se as tabelas dinâmicas, as legendas, os filtros de visualização e ferramentas específicas como o *Duct/Pipe Sizing* e o *Pipe Pressure Loss Report*.

3.5.1 TABELAS DINÂMICAS

As tabelas Revit são uma ferramenta muito importante para o auxílio dos projetos pois permitem extrair quantidades e realizar operações de cálculo sobre estes valores, possibilitando a realização de estimativas orçamentais e aplicação de fórmulas diversas. É possível ainda realizar a análise de critérios de verificação através da introdução de formatação condicional e editar a informação do modelo diretamente na tabela. O facto de ser possível seleccionar elementos do modelo 3D diretamente a partir da tabela é de grande utilidade para a seleção de elementos por critério.

A informação das tabelas encontra-se sempre sincronizada com o modelo, pelo que é possível reutilizar tabelas desenvolvidas noutros projetos. As tabelas podem ser exportadas para programas de processamento de dados mais avançados, como por exemplo o Microsoft Excel.

As tabelas podem ser organizadas e formatadas tendo em conta, entre outros, os aspetos seguintes:

- Possibilidade de especificar a ordem e o tipo de propriedades a exibir;
- Cálculo dos totais por parâmetro;
- Aplicação de filtros aos parâmetros selecionados;
- Criação de novos parâmetros de visualização e de cálculo e desta forma completar a informação já disponível;
- Definição de unidades de medida diferentes das que estão definidas no projeto;
- Formatação condicional, permite definir uma condição e verificar se é cumprido ou não esse requisito, sendo útil para verificações regulamentares como por exemplo, identificar se a velocidade se encontra compreendida entre 0,5 e 2 m/s (ver Figura 15).

A	B	C	D	E	F	G
Material	Section	Fixture Units	Flow	Velocity	DN	D int
Copper	1	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	1	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	3	1.98375	0.31 L/s	0.8 m/s	25.0 mm	22.6 mm
Copper	4	2.77725	0.39 L/s	1.0 m/s	25.0 mm	22.6 mm
Copper	4	2.77725	0.39 L/s	1.0 m/s	25.0 mm	22.6 mm
Copper	6	5.5545	0.64 L/s	0.7 m/s	40.0 mm	34.8 mm
Copper	8	16.6635	1.15 L/s	0.6 m/s	50.0 mm	47.5 mm
Copper	8	16.6635	1.15 L/s	0.6 m/s	50.0 mm	47.5 mm
Copper	8	16.6635	1.15 L/s	0.6 m/s	50.0 mm	47.5 mm
Copper	9	1.19025	0.21 L/s	2.4 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	9	1.19025	0.21 L/s	2.4 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	9	1.19025	0.21 L/s	2.4 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	11	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	11	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	13	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	13	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	15	1.98375	0.31 L/s	0.8 m/s	25.0 mm	22.6 mm
Copper	16	2.77725	0.39 L/s	1.0 m/s	25.0 mm	22.6 mm
Copper	16	2.77725	0.39 L/s	1.0 m/s	25.0 mm	22.6 mm
Copper	18	1.19025	0.21 L/s	2.4 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	18	1.19025	0.21 L/s	2.4 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	18	1.19025	0.21 L/s	2.4 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	20	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	20	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	22	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	22	0.7935	0.19 L/s	2.1 m/s	15.0 mm	10.7 mm
Copper	24	1.98375	0.31 L/s	0.8 m/s	25.0 mm	22.6 mm
Copper	25	2.77725	0.39 L/s	1.0 m/s	25.0 mm	22.6 mm
Copper	25	2.77725	0.39 L/s	1.0 m/s	25.0 mm	22.6 mm
Copper	27	5.5545	0.64 L/s	0.7 m/s	40.0 mm	34.8 mm
Copper	29	11.109	0.98 L/s	0.5 m/s	50.0 mm	47.5 mm

Figura 15 – Verificação de requisito regulamentar através do uso de formatação condicional das tabelas de Revit.

3.5.2. LEGENDAS E FILTROS DE VISUALIZAÇÃO REVIT

3.5.2.1. Legendas de cores para tubagem

Pipe Color Fill Legends é uma ferramenta disponível no Revit que tem como objetivo a criação de um código de cores para fornecer um esquema visual dos diferentes atributos associados à tubagem de um projeto. É uma funcionalidade 2D, logo só é visível em planta. Permite selecionar qualquer parâmetro do projeto e associar um valor ou intervalo de valores para a identificação desejada. Apresenta-se um exemplo da sua aplicação nas Figura 16 e Figura 17, onde são definidas cores a atribuir à tubagem em função da velocidade para a qual foram criados cinco intervalos de valores.

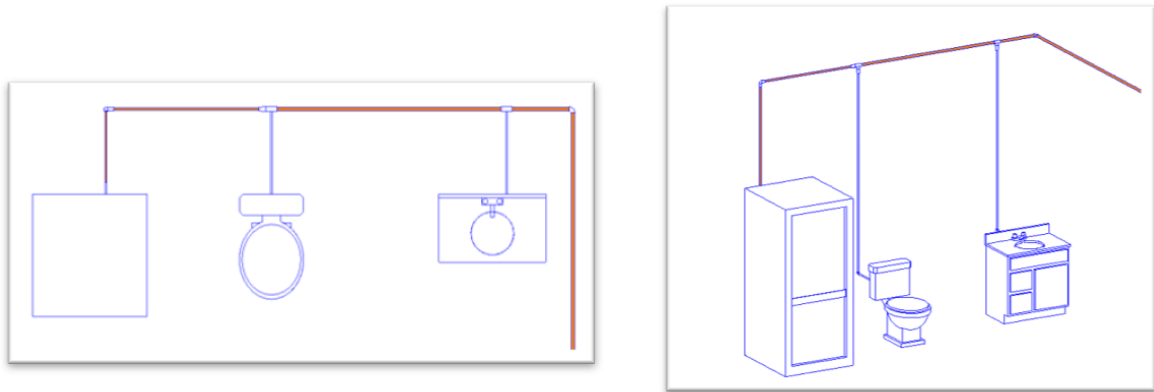


Figura 18 - Vista em planta e vista 3D após a aplicação do filtro criado

3.5.3. DUCT/PIPE SIZING

O comando *Duct/Pipe Sizing* permite fazer um dimensionamento dinâmico da tubagem dos sistemas do modelo. Apresenta dois critérios de dimensionamento: velocidade ou fricção. É possível definir se o dimensionamento da tubagem é apenas baseado na velocidade ou fricção, se considera ambos ou se cumpre apenas uma das condicionantes.

A ferramenta permite definir se o diâmetro de saída do dispositivo deve ou não ser respeitado, isto é, se o dimensionamento estiver a resultar num diâmetro diferente do diâmetro de saída, este prevalece sobre o diâmetro calculado em função da velocidade ou da fricção. Dentro desta funcionalidade é ainda possível definir se o tubo em causa tem de respeitar o conector de ligação, sendo que o dimensionamento pode ou não cumprir os limites imposto visto que dá prioridade à dimensão do tubo, como por exemplo, definir que o ramal de alimentação de um lavatório é Ø15, independentemente do caudal e velocidade o tubo mantém-se com o valor do diâmetro definido (*Match Connector Size*). Existe também a hipótese de o dimensionamento, independentemente do conector definido ao equipamento, ser feito com base na fricção/velocidade e respetivo caudal e caso seja necessário é adicionado automaticamente um acessório de transição para fazer a ligação da rede (*Larger of Connector and Calculated*).

O dimensionamento automático com base na velocidade aplica a Equação 8 para calcular o diâmetro interno da tubagem e correspondente diâmetro nominal, tendo como parâmetros de entrada o caudal registado no tubo e a velocidade desejada.

A título de exemplo, na Figura 19 é possível verificar que para um caudal de 1,15 L/s e limitando a velocidade a 1m/s, a ferramenta *Pipe Sizing* dimensiona a tubagem para um DN 50 mm com D_{int} de 47,5 mm.

Pela Equação 8 tem-se:

$1 = \frac{4000 \cdot 1,15}{\pi \cdot D_{int}^2}$, $D_{int} = 38,3$ mm. Tendo em conta a gama de diâmetros considerada para o material em questão, o diâmetro interno do DN 40 é 34,8 mm, logo o diâmetro imediatamente a seguir que satisfaz o dimensionamento é o DN 50 (D_{int} de 47,5mm) conforme obtido.

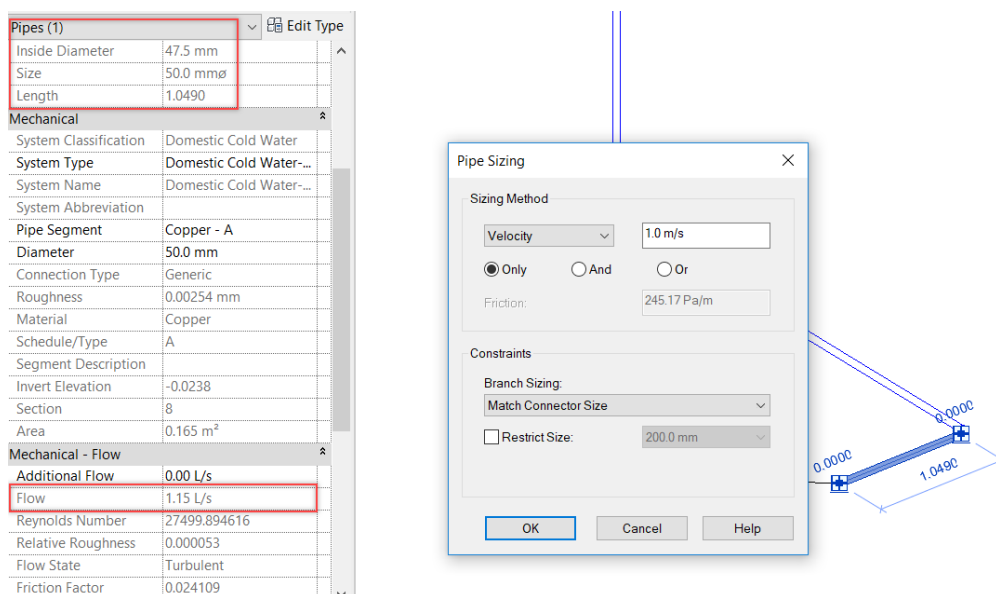


Figura 19 - Comando *Duct/Pipe sizing*: exemplo prático

3.5.4. PIPE PRESSURE LOSS REPORT

O Revit inclui uma funcionalidade designada por *Pipe Pressure Loss Report* que permite gerar um relatório de cálculo da rede com o registo, entre outros, dos valores da velocidade, diâmetro, caudal, comprimentos e perdas de carga. Antes de gerar um *Pipe Pressure Loss Report* é aconselhável o uso da funcionalidade *System Inspector*. Esta ferramenta permite visualizar a informação do relatório diretamente numa vista 3D e só se encontra disponível se os elementos do sistema estiverem corretamente ligados entre si.

Relativamente às perdas de carga, o Revit calcula a perda de carga em cada troço e o conjunto de segmentos Dispositivo-Ramal de Ligação que resulta na maior perda de pressão, designado como caminho crítico. Esta informação consta apenas do *Pipe Pressure Loss Report*, sendo bastante útil para a análise regulamentar das pressões a cumprir no projeto.

3.6. DYNAMO

O Dynamo é uma ferramenta de programação visual que funciona em conjunto com o Revit. Esta ferramenta amplia o poder deste software fornecendo acesso à API do Revit (*Application Programming Interface*) de uma forma mais acessível. A programação visual substitui os algoritmos escritos em código pela ligação gráfica das funções ou nós. O facto de os nós serem representados visualmente pelos inputs e pelos outputs da função, ajuda desde logo à interpretação do script. Tal como numa API tradicional, também a biblioteca de funções do Dynamo pode ser pesquisada (Boehning 2015). É uma abordagem de programação mais adequada para profissionais que não sejam da área de programação, como arquitetos e engenheiros civis (Archsmarter 2018).

4

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE AUXÍLIO AO DIMENSIONAMENTO

4.1. ENQUADRAMENTO

Neste capítulo irão ser exploradas duas abordagens distintas, baseadas nas configurações de caudal disponíveis no Revit, para integrar em projetos de redes prediais de abastecimento de água que adotam a metodologia BIM.

A abordagem baseada na configuração Fixture Units recorre unicamente às ferramentas nativas do Revit para realizar o pré-dimensionamento e traçado da rede no modelo BIM. Pode ainda servir de ponto de partida para a abordagem segundo o método Preset.

Na abordagem baseada na configuração Preset, foram desenvolvidas ferramentas compatíveis com o software em estudo e que possibilitam a troca de dados entre o modelo BIM e a folha de cálculo, de modo a ser possível obter um dimensionamento da rede do projeto e incluir essa informação no modelo.

4.2. ABORDAGEM BASEADA NA CONFIGURAÇÃO FIXTURE UNITS

O principal problema identificado no Revit relativamente ao dimensionamento das redes de abastecimento de água está relacionado com o facto de o coeficiente de simultaneidade não ser considerado tal como definido no regulamento português. A única configuração que apresenta a contabilização de simultaneidade é a configuração Fixture Units, sendo que estes fatores de simultaneidade são contabilizados conforme definido no IPC. Por outro lado, não é possível alterar o valor do caudal ou introduzir fatores no cálculo que não sejam a adição de valores, o que impossibilita a alteração do caudal de acordo com o pretendido. Deste modo, procurou-se explorar a configuração Fixture Units e perceber até que ponto pode ser adaptada ao regulamento português.

De forma a minimizar os problemas associados a esta abordagem e a automatizar a sua execução foi pensado num fluxo de trabalho onde está definida a ordem de execução e as condições pelas quais cada passo deve ser iniciado. Na Figura 20 está representado o fluxo de trabalho que começa pela configuração das famílias com os devidos parâmetros. Após a configuração das famílias dos dispositivos, estas deverão ser colocadas no modelo conforme definido no projeto de arquitetura estando deste modo as condições reunidas para a modelação do traçado da rede. Com o recurso à ferramenta *Duct/Pipe Sizing*, limita-se a velocidade desejada para o projeto e obtém-se os diâmetros das tubagens. Após este processo deverá haver uma análise à tabela dinâmica definida no Revit. Esta tabela deverá

estar configurada de modo a dar informação sobre os caudais, o diâmetro, a velocidade e perdas de carga, e a destacar anomalias e outras situações que mereçam destaque e verificação adicional. Por fim, deve ser gerado o *Pipe Pressure Loss Report* e analisado o caminho crítico identificado para se perceber se é necessário proceder à alteração dos elementos, obtendo-se então um pré-dimensionamento da rede. É importante referir que esta abordagem servirá de ponto de partida para a próxima, visto que fornece o traçado e um pré-dimensionamento da rede.

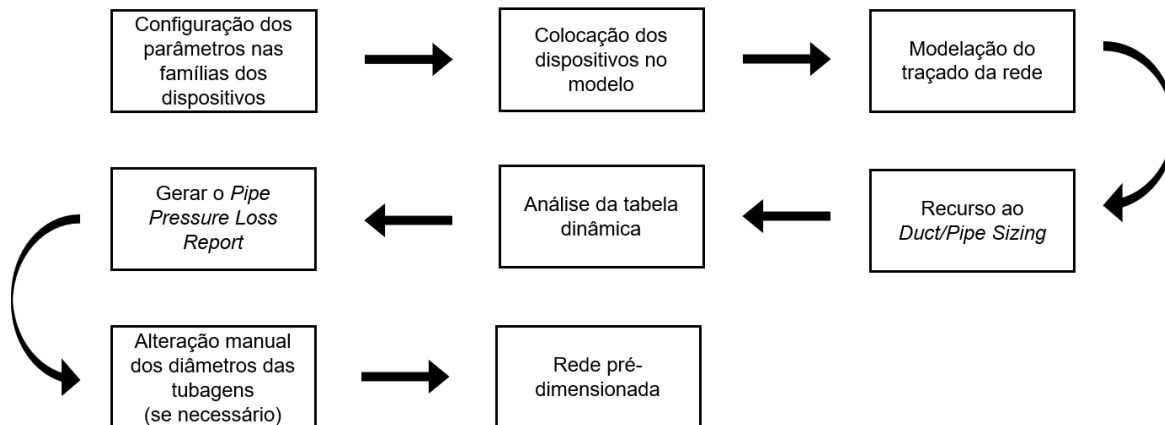


Figura 20 - Fluxo de trabalho: Abordagem baseada na configuração Fixture Units

Ao preparar as famílias Revit para integrar esta análise é necessário definir um conjunto de parâmetros. Foram criados 2 novos parâmetros, o CWFlow, e o CWFlow_Multiplier. O parâmetro CWFlow representa o caudal instantâneo português respetivo a cada equipamento e o CWFlow_Multiplier representa o fator de multiplicação comparativamente ao IPC, cujo valor é igual a 2 como se conclui da análise da Figura 12. Após se criar estes parâmetros, já é possível integrar a Equação 17 no parâmetro das *fixture units*, neste caso no parâmetro da tubagem de água fria, Cold Water Fixture Units (CWFU) que se traduz na Equação 19 quando adaptada às famílias Revit. Na Figura 21 estão representadas as propriedades das famílias como devem estar configuradas.

$$CWFU = \frac{15,87}{CW_Flow_Multiplier} \times CWFlow \quad (19)$$

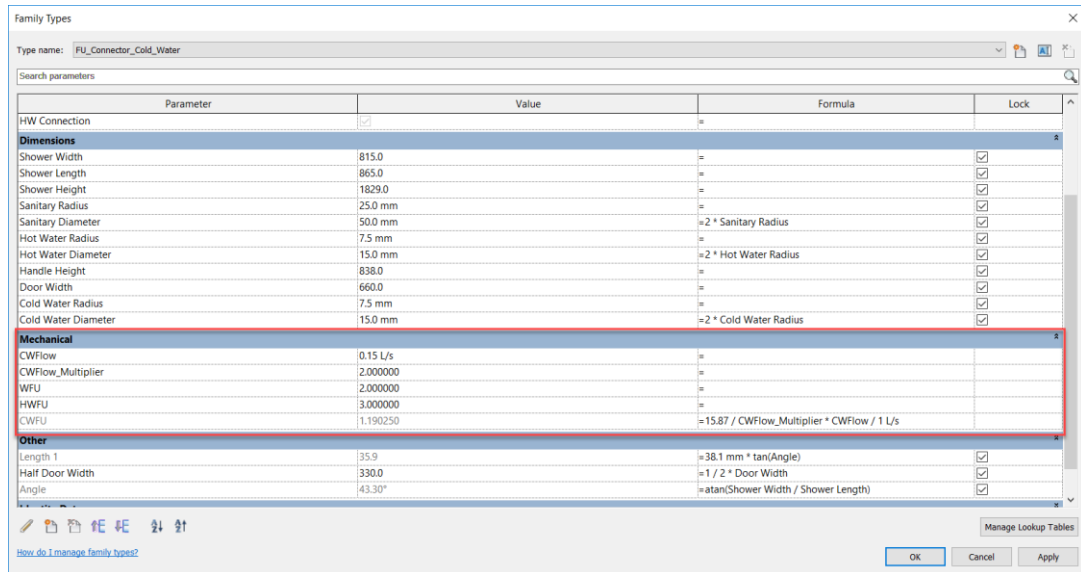


Figura 21 - Parâmetros integrados nas propriedades das famílias

Após se ter as famílias configuradas com os respetivos parâmetros, os equipamentos já podem ser colocados no modelo conforme definido no projeto de arquitetura e o traçado da rede ser modelado. A partir deste modelo é possível recorrer ao *Duct/Pipe Sizing* para limitar a velocidade de projeto pretendida e obter o dimensionamento automático da tubagem. É igualmente possível obter o *Pipe Pressure Loss Report* que fornece informações sobre velocidade, diâmetros, caudais e perdas de carga, relativamente às quais é indicado o caminho crítico.

Caso haja presença de equipamentos com fluxómetros, seria necessário a partir deste método optar pela configuração *Predominantly Flush Valves*, o que resultaria no sobredimensionamento do modelo, não sendo portanto uma opção válida para o dimensionamento ou pré-dimensionamento, na medida em que os requisitos americanos são de uma escala bastante superior aos do regulamento português, levando a que esse tipo de configuração não seja considerada para esta abordagem. Conclui-se, pois, que a presença de fluxómetros no projeto será uma limitação na aplicação deste método. Conforme explicado em 3.4.4, não foi possível encontrar uma relação entre o método de cálculo português e o do IPC na presença de equipamentos com fluxómetro.

O recurso à abordagem baseada na configuração *Fixture Units* justifica-se pela mais valia de se obter um dimensionamento aproximado da rede durante o processo de modelação sem ser necessário recorrer à folha de cálculo Excel, na medida em que a utilização desta só se justifica depois de se definir e modelar o traçado final da rede.

4.3. ABORDAGEM BASEADA NA CONFIGURAÇÃO PRESET

Com vista a integrar o modelo Revit no processo de dimensionamento de um projeto de redes prediais de abastecimento de água analisou-se outra possível abordagem com recurso ao Revit, ao Dynamo e a uma folha de cálculo Excel.

Como referido no final de 4.2, esta abordagem pode ser implementada no seguimento da abordagem anterior, ou seja, tirando partido do traçado já definido e alterando as famílias *fixture units* por famílias *preset*, obtendo-se deste modo um modelo pronto para correr as rotinas Dynamo e para determinar o

dimensionamento final do projeto. Salienta-se que na presença de fluxómetros a abordagem pelo método Fixture Units não é aplicável.

A Figura 22 ilustra o fluxo de trabalho desenvolvido para a abordagem Preset. O fluxo de trabalho começa com a definição dos parâmetros gerais do projeto imprescindíveis para o dimensionamento da rede, nomeadamente o Critical Path, o FT Quantity, o FV Quantity, o FT Flow e FV Flow. De seguida dever-se-á fazer o mesmo processo, mas para as famílias dos dispositivos sendo necessário definir o valor dos seguintes parâmetros: CWFlow, CWFlow Aux, Flush Tank e Flush Valve. Após a definição destes parâmetros dever-se-á proceder à atribuição do caudal instantâneo de cada equipamento ao parâmetro CWFlow Aux e posteriormente colocar os dispositivos consoante definido no projeto de arquitetura. Tendo estas condições reunidas, é possível proceder à definição do traçado da rede. Após a modelação da rede e a verificação da continuidade das ligações entre tubos e dispositivos, deverá ser corrido, de acordo com a nomenclatura adotada na Tabela 7, o *script A.1* do Dynamo. Após a conclusão desta rotina, o próximo passo será correr o *script A.2* para se obter os dados necessários ao dimensionamento recorrendo à folha de cálculo. Tendo os dados em Excel, é necessário organizá-los na folha de dimensionamento. Após o dimensionamento realizado é necessário analisar os resultados obtidos e verificar o cálculo das pressões, alcançado o dimensionamento final da rede. Por meio do *script A.3* do Dynamo, transfere-se a informação do diâmetro de cada tubagem para o modelo obtendo-se deste modo o modelo Revit com o dimensionamento final do projeto.

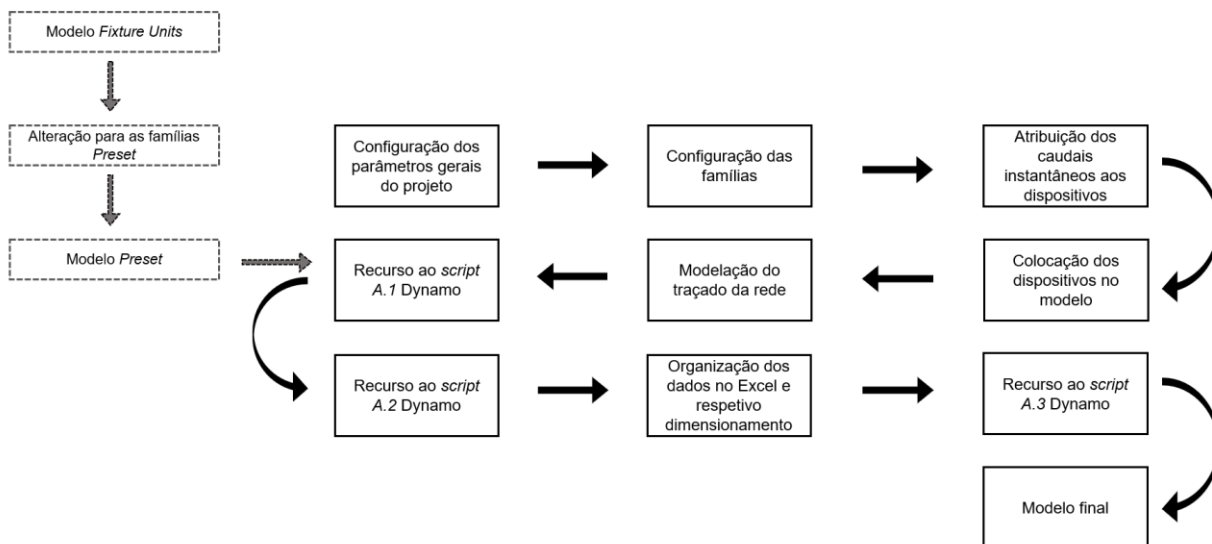


Figura 22 - Fluxo de trabalho: Abordagem baseada na configuração Preset

Passando a explicar todas as etapas do fluxo de trabalho, conforme referido em 3.4.2.1, a configuração Preset, permite obter para cada troço o respetivo caudal acumulado, no entanto, o regulamento português prevê, para efeitos de cálculo, a separação dos caudais relativos a dispositivos com e sem fluxómetros, na medida em que os parâmetros relacionados com os coeficientes de simultaneidade são determinados de forma diferente para os dois casos. Não sendo possível separar os caudais acumulados calculados pelo Revit recorrendo às ferramentas nativas do programa, será necessário operacionalizar este princípio recorrendo ao Dynamo.

Outro aspeto importante para o cálculo dos caudais de cálculo está relacionado com a determinação dos coeficientes de simultaneidade, que por sua vez estão diretamente relacionados com a contabilização do número de dispositivos ligados a jusante de cada tubo. As tabelas de quantidades do Revit permitem

Como resultado desta operação, o parâmetro nativo de caudal do Revit, o parâmetro Flow, será atualizado com o número de dispositivos sem fluxómetro que afetam cada tubo. Como o parâmetro Flow também será utilizado para calcular o número de dispositivos com fluxómetro, assim como os caudais acumulados, é necessário guardar o valor atual desta variável num outro parâmetro que permaneça inalterado, neste caso, o parâmetro FT Quantity. Este processo constitui a segunda secção do *script A.1* (ver Figura 24).

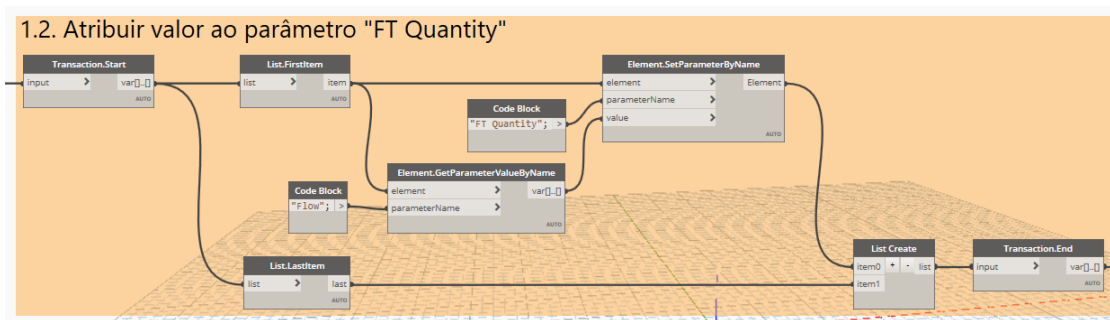


Figura 24 - Script A.1: Atribuir valor ao parâmetro FT Quantity

Depois de contabilizados os equipamentos sem fluxómetro, é necessário associar o caudal instantâneo de cada um dos dispositivos ao respetivo parâmetro. O valor do caudal de cada equipamento já deverá estar definido na respetiva família no parâmetro CWFlow Aux, pelo que é necessário atribuir o seu valor ao parâmetro CWFlow de modo a estabelecer a ligação com o parâmetro Flow da tubagem e obter o respetivo caudal acumulado dos dispositivos sem fluxómetro (ver Figura 25).

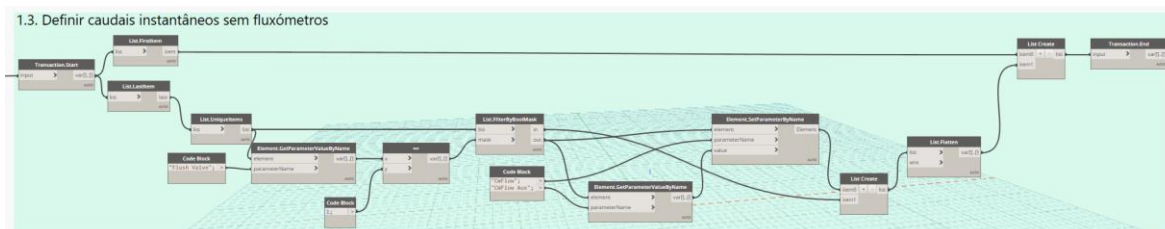


Figura 25 - Script A.1: Definir caudais instantâneos aos equipamentos sem fluxómetro

De forma análoga ao realizado para a contabilização dos equipamentos, é necessário guardar o valor atual do parâmetro Flow da tubagem numa variável que permaneça inalterada, pelo que na secção seguinte o valor do parâmetro Flow é atribuído ao parâmetro FT Flow (ver Figura 26).

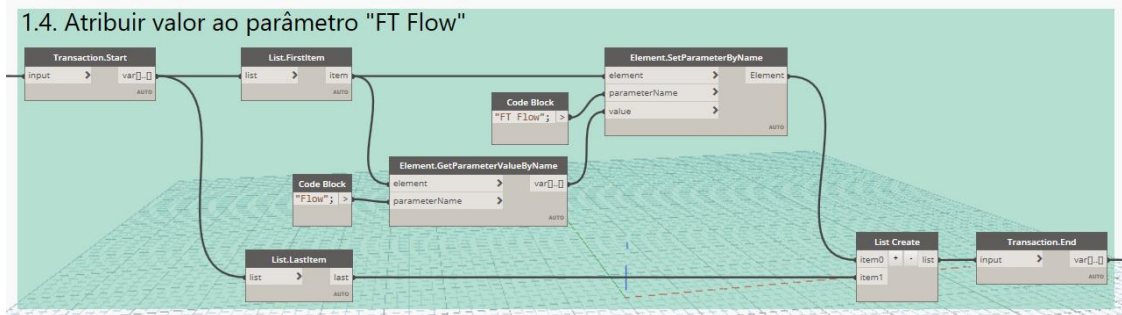


Figura 26 - Script A.1: Atribuir o valor do caudal acumulado ao parâmetro FT Flow

Nas restantes secções do *script A.1* são adotados os mesmos princípios, mas para os dispositivos com fluxómetros, resultando na determinação do número de dispositivos e no caudal acumulado, e consequente preenchimento, respetivamente, dos parâmetros FV Quantity e FV Flow.

Após correr esta rotina descrita, recorre-se ao *script A.2*. Este *script* está programado para retirar do modelo as informações necessárias para integrar na folha de cálculo Excel (Figura 29) para se proceder ao dimensionamento da rede. São retiradas as seguintes informações do modelo: Sections, para identificação de cada troço; FT Quantity, para contabilização do número de dispositivos sem fluxómetros para o cálculo do coeficiente de simultaneidade; FV Quantity, para contabilização do número de dispositivos com fluxómetros para o cálculo do coeficiente de simultaneidade; FT Flow, para indicação do caudal acumulado dos dispositivos sem fluxómetros em cada troço; FV Flow, para indicação do caudal acumulado dos dispositivos com fluxómetros em cada troço; Length, para extração do comprimento de cada tubo; Critical Path, para indicação da tubagem que integra o caminho mais desfavorável para verificação de pressões; Revit ID, para identificação inequívoca de cada elemento do modelo, sendo um complemento à informação obtida através das Sections. Estes dados são extraídos e exportados para uma tabela Excel pré-preparada para a realização do dimensionamento da rede e para a respetiva verificação de pressões (ver Figura 27).



Figura 27 - Script A.2: Script para exportar informações da tubagem para uma tabela Excel

O resultado do dimensionamento da rede reflete-se, em termos de modelo, na adaptação da secção da tubagem às dimensões que resultam do cálculo realizado, pelo que se torna necessário importar os diâmetros determinados no Excel para o modelo Revit. Este processo é realizado através da aplicação do *script A.3*, ilustrado na Figura 28. A rotina funciona através da seleção paralela dos dados no Excel e dos tubos do modelo Revit e na atribuição do valor dos diâmetros definidos no Excel ao parâmetro Diameter dos tubos, sendo a tubagem automaticamente adaptada às novas dimensões.

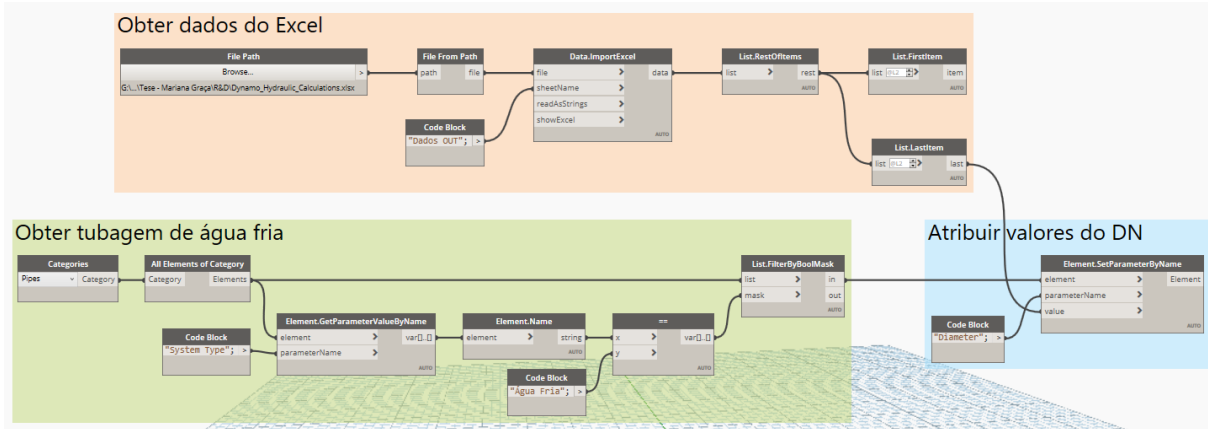


Figura 28 - Script A.3: Importação do dimensionamento da folha Excel para o modelo Revit

Na Figura 29 é apresentada a folha de cálculo, ligada às rotinas acima descritas, usada para proceder ao dimensionamento da rede, os valores nela representados são resultado de uma simulação.

REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA																					
Material da tubagem: PEAD- PN10																					
Limite de velocidade: 1 m/s																					
Perdas de carga localizadas: 20 %																					
K= 2,548 08 m																					
v= 1,01E-06 m ³ /s																					
Troço	Totais s/ fluxom		Totais c/ fluxom		K	n	Q _a	Q _i	Q _{cal}		D	Diâmetro Com. (mm)		U	J	Perdas de carga			Diâmetro Crítico		
	un.	un.	un.	un.					l/s	l/s		l/s	l/s			Ext.	Int.	m/s	m/m	1-2	L
1	5	0	-	0,5	0,75	-	0,38	0,47	24,5	32	28,6	0,73675	0,00051	0,00061	1,2	0,00073	*	0,00073	15	30	22
2	4	0	-	0,377	0,65	-	0,38	0,44	21,9	25	22,6	1,09882	0,00136	0,00164	0,2	0,00033	*	0,00033	15	30	22
3	5	0	-	0,5	0,75	-	0,38	0,47	24,5	32	28,6	0,73675	0,00051	0,00061	0,8	0,00049					
5	2	0	-	1	0,3	-	0,3	0,3	19,4	25	22,6	0,74785	0,0007	0,00084	0,1	8,4E-05					
6	3	0	-	0,7071	0,4	-	0,28	0,34	20,8	25	22,6	0,84758	0,00087	0,00104	20,6	0,02146					
11	2	0	-	1	0,35	-	0,35	0,35	21,11	25	22,6	0,87248	0,00091	0,0011	0,4	0,00044					
12	5	0	-	0,3	0,75	-	0,49	0,49	24,9	32	28,6	0,73681	0,00055	0,00066	2,2	0,00144	*	0,00144			
4	1	0	-	1	0,2	-	0,2	0,2	15,95	20	19,2	0,97931	0,00187	0,002	5,1	0,0052	*	0,0052			

Figura 29 - Folha de cálculo Excel

A folha de cálculo encontra-se programada da seguinte forma:

- Troço: Corresponde a cada Section obtida através do modelo Revit;
- Totais s/ flux.: Obtém-se a partir do parâmetro FT Quantity, fornecido pelo modelo Revit;
- Totais c/ flux.: Analogamente como o ponto anterior, mas a partir do parâmetro FV Quantity;
- X: Coeficiente de simultaneidade [Equação 3];
- N: Simultaneidade de fluxómetros instalados [Tabela 3];
- Q_a: Obtém-se através do parâmetro FT Flow extraído do modelo Revit;
- Q_i: Retira-se a partir do parâmetro FV Flow obtido a partir do modelo Revit;
- Q_{cal} (c/ coef. simult): Caudal cálculo, calculado com base na Equação 5;
- Q_{cal} (Reg.Port.): Caudal de cálculo obtido a partir do nível do conforto médio, Equação 4 com os correspondentes valores da Tabela 2;
- D: Cálculado a partir da Equação 7;
- D_{Ext} e D_{Int}: Atribuídos de acordo com o valor de D e consoante o material e a gama de diâmetros definida;
- U: Cálculo baseado na Equação 8;
- J: Obtido com base na Equação de Flamant, Equação 9;
- L: Valores obtidos diretamente do modelo Revit;
- ΔH: Através da operação das células 1,2 j*L;
- Verificação de pressão de acordo com a Equação 16, apoiada nos valores de perda de carga obtidos a partir do caminho crítico fornecido pelo Revit.

4.4. FERRAMENTAS DE AUXÍLIO PARA VERIFICAÇÕES

Como ferramentas de auxílio para verificações regulamentares, disposições construtivas e ferramentas de apoio à coordenação e preparação do projeto, foram criados *scripts* em Dynamo e *View Templates* com o objetivo de permitir as operações seguintes:

- Identificação de elementos de tubagem embutidos nas paredes;
- Identificação de tubagem presente nas *courettes*;
- Identificação das prumadas principais do projeto;
- Identificação da diferença de cota máxima entre tubagens;
- Verificação da disposição construtiva entre tubagem de água fria e de água quente (distância mínima de 5 cm);
- Identificação dos diâmetros da tubagem;
- Identificação das velocidades na tubagem.

Os *scripts* desenvolvidos encontram-se organizados na Tabela 7 do subcapítulo 4.5.5. Salienta-se que parte destas verificações são úteis não só a projetistas, mas também para empreiteiros na medida em que influenciam aspetos tipicamente abordados em fase de projeto e em fase de preparação de obra.

4.4.1. VERIFICAÇÃO DE ELEMENTOS DE TUBAGEM EMBUTIDOS NAS PAREDES

O *script B* foi concebido com o intuito de identificar tubagens, acessórios e ligações que se encontrem embebidas nas paredes do modelo de arquitetura. Para a sua correta execução é necessário criar o parâmetro “Inside Of” no projeto. Este *script* é útil para distinguir automaticamente a tubagem presente em tetos falsos da tubagem embutida nas paredes, e para auxiliar os processos de deteção de colisões, na medida em que permite desde logo desprezar as colisões entre tubagem e parede nas situações em que se trate de tubagem embutida.

A rotina funciona como uma ferramenta de deteção de colisões através da verificação da interseção da geometria das paredes do modelo de arquitetura e da geometria da tubagem, acessórios e ligações. Os elementos da rede que intersetarem paredes de arquitetura são depois classificados como “elementos embutidos em parede” no parâmetro Inside Of (ver Figura 30).

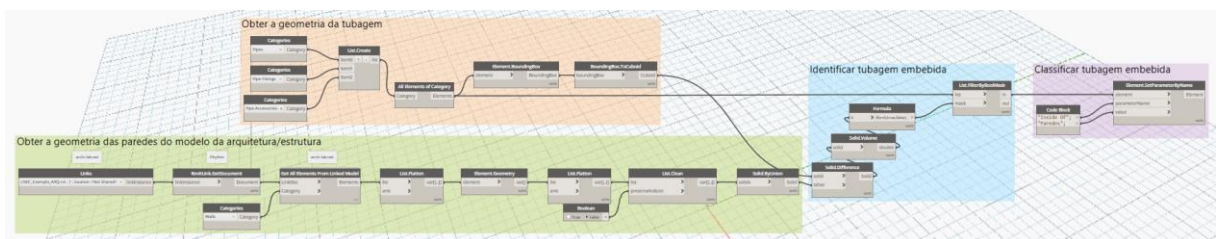


Figura 30 - *Script B*: Identificação da tubagem embetida nas paredes

4.4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS PRUMADAS PRESENTES NAS COURETTES

O *script C* é bastante semelhante ao *script B* diferindo apenas no tipo de elementos do modelo de arquitetura a analisar. O objetivo da rotina passa pela identificação dos elementos da rede dentro das *courettes*, sendo para tal necessário modelar os negativos correspondentes ao espaço útil das *courettes* no modelo da arquitetura recorrendo à ferramenta *Shaft Openings*. A classificação dos elementos da rede que intersetam as *courettes* é realizada igualmente a partir do parâmetro Inside Of, onde os

elementos são identificados como atravessando as aberturas (ver Figura 31). Este script é bastante útil para modelos de coordenação visto que as *courettes* são áreas técnicas onde a coordenação das várias especialidades é fundamental.

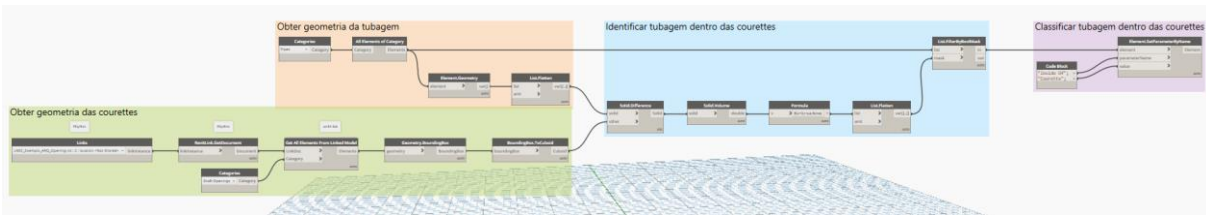


Figura 31 - Script C: Identificação das prumadas dentro das *courettes*

4.4.3. IDENTIFICAÇÃO DAS PRUMADAS PRINCIPAIS

Visto que as prumadas principais são um elemento estruturante num projeto de abastecimento de água, torna-se útil identificar estes elementos no modelo de forma automática. Tal como a identificação das *courettes*, este tipo de classificação é bastante útil na coordenação e compatibilização de modelos de diferentes especialidades.

A aplicação desta rotina obriga à criação de um parâmetro de projeto do tipo *Yes/No* (parâmetro binário) “Main Vertical”. Esta rotina começa por filtrar a tubagem vertical através da identificação das faces laterais de cada tubagem e da respetiva verificação de paralelismo em relação ao eixo dos Zs (ver Figura 32).

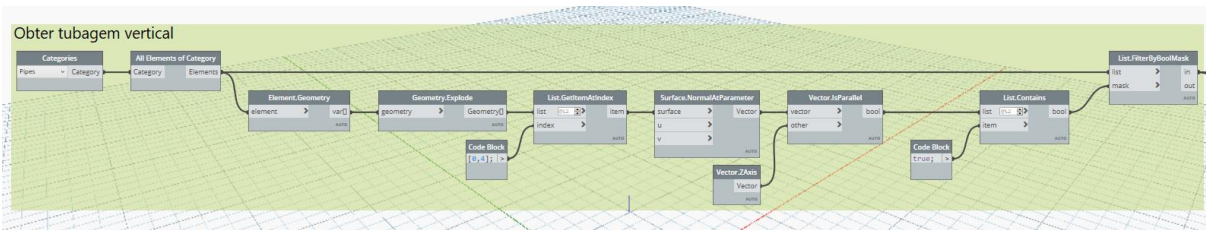


Figura 32 - Script D: Seleção da tubagem vertical

É igualmente necessário determinar a altura média entre pisos para ser possível filtrar as prumadas principais dos ramais de alimentação de cada dispositivo. Para tal é necessário filtrar os níveis que definem os pisos do modelo, isto é, os *Levels*, e obter as respetivas cotas. Os valores desta lista deverão ser ordenados da cota mais alta para a mais baixa, realizando-se posteriormente a subtração de cotas entre níveis sucessivos e assim obtendo-se a diferença entre cotas sucessivas. Obtidas as diferenças de cotas entre níveis, é possível obter um valor médio para confrontar com o comprimento da tubagem vertical (ver Figura 33).

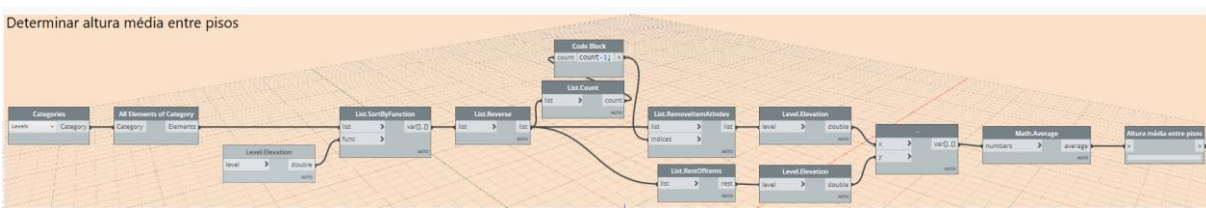


Figura 33 - Script D: Determinação da altura média entre pisos

Os passos seguintes, representados na Figura 34, passam por determinar o comprimento das tubagens verticais através das suas cotas mínimas e máximas obtendo assim o seu comprimento. Atribuindo uma tolerância de 10 cm, filtra-se de seguida a tubagem vertical com comprimento menor que a altura média entre pisos. Por fim é possível identificar as prumadas principais do projeto. Esta informação reflete-se no parâmetro Main Vertical que fica assinalado (*Yes*) caso se trate de uma prumada principal e em branco (*No*) em caso contrário.

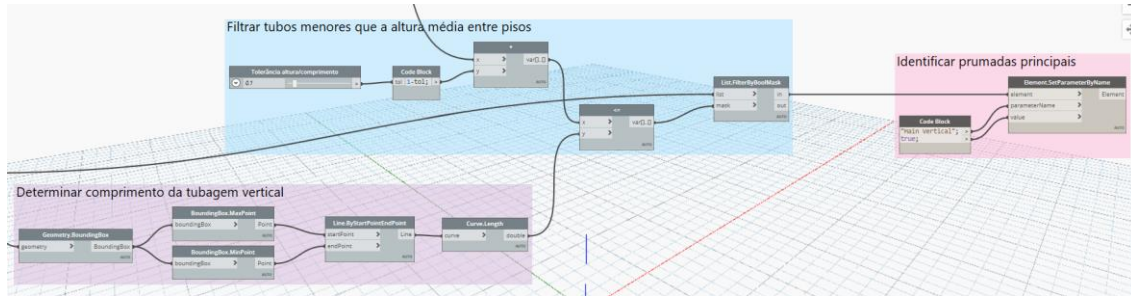


Figura 34 - Script D: Parte do Script de identificação de prumada principal

4.4.4. IDENTIFICAÇÃO DA DIFERENÇA DE COTA MÁXIMA ENTRE TUBAGENS

Com o intuito de auxiliar a verificação de pressões no projeto, foi concebida uma rotina que permitisse, de forma automática, determinar a diferença de cota máxima entre tubagens do modelo para ser possível integrar na fórmula de verificação de pressões (Equação 16).

O *script E*, representado na Figura 35, começa por filtrar toda a tubagem que pertence ao sistema de água fria. São depois listadas as cotas da tubagem e é calculado o valor absoluto da subtração recorrente entre todos os tubos, de modo a ser possível identificar o desnível máximo que corresponde ao valor final a integrar no valor Z_n na Equação 16. Para este *script* funcionar é necessário adotar como pressuposto que o tubo à cota mais baixa é o do ramal de ligação à rede pública.

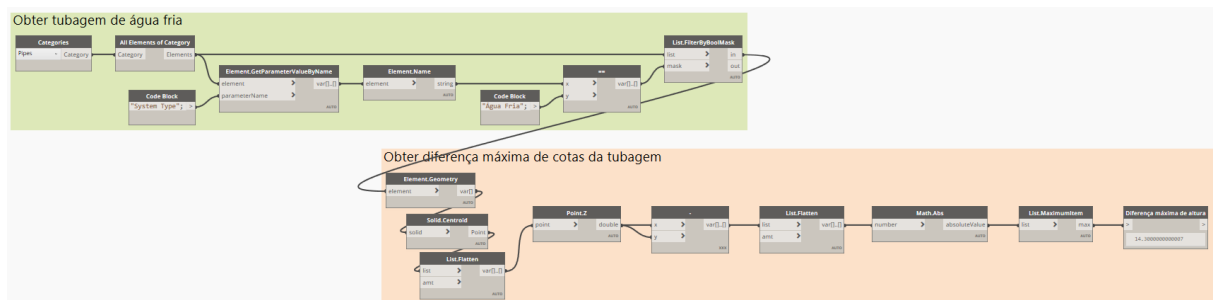


Figura 35 - Script E: Identificação da diferença de cota máxima entre tubagens

4.4.5. VERIFICAÇÃO DA DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE TUBAGEM

Visto que uma das disposições construtivas de instalação de tubagem se refere ao facto de a tubagem de água quente ter de ser instalada paralelamente e num plano superior à tubagem de água fria com uma distância mínima a cumprir de 5 cm, torna-se útil realizar esta verificação de forma automática no modelo.

O *script F* obriga à definição de um parâmetro de projeto “Clearance” onde será definido o resultado do cumprimento ou não da distância mínima. A rotina começa por distinguir a tubagem de água quente

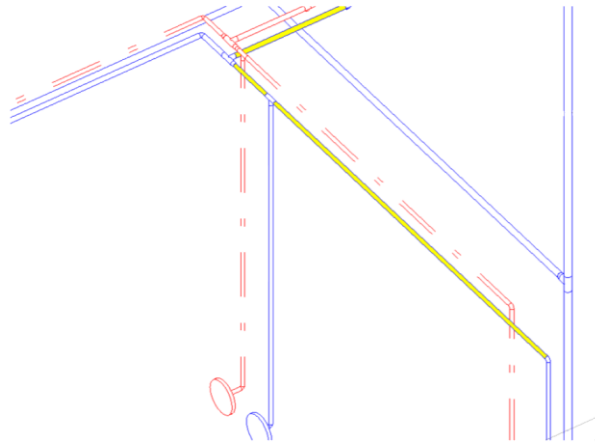


Figura 38 - Aplicação do filtro de visualização para identificar a tubagem que não cumpre a distância mínima

4.4.6. IDENTIFICAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS TUBAGENS

Conforme mencionado em 3.5.2.1, o recurso à ferramenta *Pipe Legend* é bastante útil para identificação de forma automática das dimensões da tubagem, permitindo uma verificação intuitiva do dimensionamento realizado. Na Figura 39 apresenta-se um exemplo prático da sua aplicação, sendo possível definir a gama de cores e de diâmetros integrada na legenda.

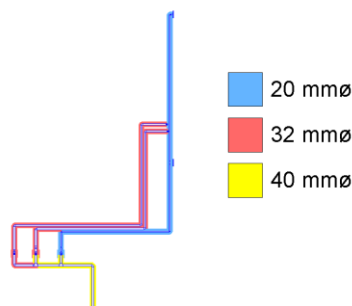


Figura 39 - *Pipe Color Fill - Sizes*

4.4.7. IDENTIFICAÇÃO DAS VELOCIDADES NAS TUBAGENS

As velocidades nas tubagens, segundo o regulamento português, têm de estar compreendidas entre 0,5 e 2 m/s. Para se executar esta verificação através do modelo pode-se proceder por 3 vias distintas. Através de filtros de visualização, definindo os intervalos para os quais se quer verificar as velocidades como representado na Figura 40 sendo que estes filtros tanto podem ser aplicados a vistas 3D como em vistas 2D, conforme representado na Figura 41.

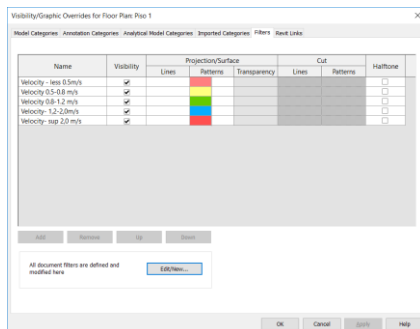


Figura 40 - Definição de filtros para verificação de velocidades

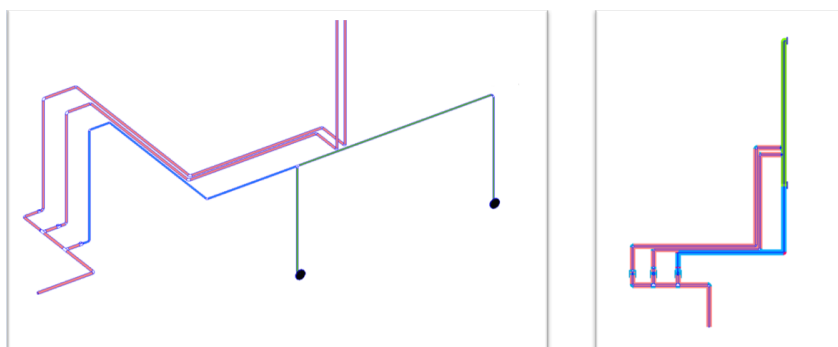


Figura 41 - Representação 3D e 2D da aplicação dos filtros de visualização

Outra forma de identificar os segmentos que não cumprem este critério é através da formatação condicional das células da tabela dinâmica conforme representado na Figura 15. A última forma de fazer a verificação é recorrendo à ferramenta *Pipe Legend*, definindo os intervalos de valores de velocidades e respetiva gama de cores conforme exemplificado na Figura 42.

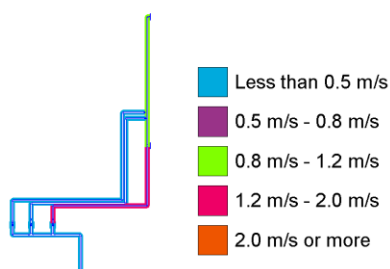


Figura 42 - Pipe Color Fill - Velocity

4.5. TEMPLATE REVIT






















O Revit integra *templates* pré-definidos para cada especialidade, sendo depois possível personalizar um *template* com os parâmetros e critérios desejados. A configuração de um *template* passa, entre outros aspetos, pela integração de famílias personalizadas, pela definição de pré-configurações gráficas de representação através dos *View Templates*, pela definição de estilos de linha, espessura e escalas, pela inclusão de tabelas pré-formatadas e de parâmetros de projeto.

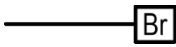




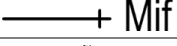






Com o intuito de auxiliar a modelação de um projeto de redes prediais de abastecimento de água em Revit, foi desenvolvido um *template* com algumas configurações já adaptadas à modelação do projeto, de modo a ser possível integrar o dimensionamento da rede e a extração de desenhos.

4.5.1. SIMBOLOGIA E MATERIAIS

Sendo a simbologia uma questão crucial para a representação simbólica dos elementos representados nos desenhos de projeto, foi tida em consideração e analisada de que forma seria possível integrá-la no *template*. Na Tabela 5 encontra-se representada a simbologia definida. Parte da simbologia é passível de ser diretamente integrada no processo de modelação, sendo para as restantes situações necessário recorrer a *Detail Items* a introduzir manualmente nos desenhos.

Tabela 5 - Simbologia de projeto definida no *template*

Símbolo	Designação	Modelação	Observações
	Canalização de água fria	Automática	
	Canalização de água quente	Automática	O traçado pode passar para preto através da aplicação de um <i>view template</i> de Impressão
	Canalização de água quente de retorno	Automática	
	Canalização de água para combate a incêndios	Automática	
	Cruzamento com ligação	Automática	
	Cruzamento sem ligação	Manual	
	Junta de dilatação	Manual	
	Prumada ascendente com mudança de piso	Manual	Através das famílias <i>Detail Item</i> já criadas é necessário introduzir objeto com o desenho da representação
	Prumada descendente com mudança de piso	Manual	
	Queda da canalização da esquerda para a direita	Manual	
	Queda da canalização da direita para a esquerda	Manual	
	Filtro	Automática	
	Purgador de ar	Automática	
	Torneira de serviço (sem boca roscada)	Automática	Texto da anotação editável na família do objeto conetor
	Torneira de serviço (com boca roscada)	Automática	
	Torneira/válvula de seccionamento	Automática	
	Válvula de flutuador	Automática	
	Válvula redutora de pressão	Automática	
	Válvula de retenção	Automática	
	Válvula de segurança	Automática	
	Vaso de expansão	Automática	

Símbolo	Designação	Modelação	Observações
	Autoclismo	Automática	Texto da anotação editável na família do objeto conetor
	Boca-de-incêndio interior	Automática	
	Boca-de-incêndio ou de rega exterior	Automática	
	Contador	Automática	
	Esquentador	Automática	Texto da anotação editável na família do objeto conetor.
	Fluxómetro	Automática	
	Marco de incêndio	Automática	
	Termoacumulador elétrico	Automática	Texto da anotação editável na família do objeto conetor
	Termoacumulador a gás	Automática	
	Depósito de água quente	Automática	
	Bomba	Automática	
	Grupo de pressurização	Automática	Texto da anotação editável na família do objeto conetor

Relativamente aos materiais das tubagens, foram introduzidos no *template* algumas das soluções mais correntes como o aço galvanizado, aço inox, cobre, polietileno de alta densidade (PEAD), sendo para cada uma especificada a respetiva gama de diâmetros standard e que deverá ser atualizada consoante o catálogo da marca do material adotado para o projeto em questão (Figura 43).

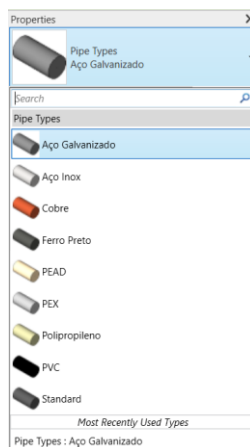


Figura 43 - Materiais de tubagens disponíveis no *template*

4.5.2. TABELAS DINÂMICAS

Tirando partido da formatação de tabelas dinâmicas com o objetivo de sistematizar informações fornecidas pelo modelo foram definidas 6 tabelas, nomeadamente:

- “Infos_Dispositivos”: Fornece informação da quantidade de dispositivos e respetivo caudal instantâneo correspondente;
- “Infos_Tubos”: Organiza a informação por tipo de sistema, identifica o material e dimensões da tubagem como o diâmetro nominal, diâmetro interno e externo e seu comprimento. Sistematiza ainda informação sobre a quantidade de dispositivos com e sem fluxómetro e respetivo caudal de cálculo;

- “Listas de Acessórios”: Faz a contabilização dos acessórios por tipo que será útil na elaboração do mapa de trabalho e quantidades (MTQ) do projeto;
- “Lista de Dispositivos”: Contabiliza o número de cada tipo de dispositivos servindo igualmente de apoio á realização do MTQ;
- “Lista de Ligações”: Apresenta o tipo de ligações e a sua contabilização apresentando o mesmo propósito das duas anteriormente descritas;
- “Pré-dimensionamento”: Esta tabela terá um papel mais ativo quando estiver a ser considerada a abordagem pela configuração Fixture Units pois está configurada para dar indicação dos troços, caudais (L/s), velocidades (m/s), diâmetros de pré-dimensionamento (mm) e perdas de carga (m.c.a). Recorrendo à formatação condicional tem impostos os limites de velocidade que facilita na verificação.

4.5.3. PARÂMETROS

A criação de novos parâmetros é essencial à aplicação das abordagens desenvolvidas em 4.2 e 4.3. Na Tabela 6 encontram-se listados todos os parâmetros que integram o *template* e a descrição da sua utilização.

Tabela 6 - Parâmetros definidos no *template*

Nome do Parâmetro	Categorias aplicáveis	Descrição de utilização
Clearance	Pipes	Definir se os tubos respeitam as condições de espaçamento mínimo entre tubagem
Critical Path	Pipe Accessories, Pipe Fittings, Pipes	Definir elementos do traçado da rede pertencentes ao caminho crítico
CWFlow	Plumbing Fixtures	Definir o caudal do conetor do dispositivo ou equipamento a utilizar nas operações de cálculo
CWFlow Aux	Plumbing Fixtures	Definir o caudal instantâneo do conetor do dispositivo ou equipamento
CWFlow_Multiplier	Plumbing Fixtures	Definir fator multiplicador para relacionar com FU
Element Type	Todas	Classificar elementos por tipo
Flush Tank	Plumbing Fixtures	Definir dispositivo sem fluxómetro
Flush Valve	Plumbing Fixtures	Definir dispositivo com fluxómetro
FT Flow	Pipes	Registrar o caudal acumulado dos dispositivos sem fluxómetro a montante do tubo
FT Quantity	Pipes	Registrar o nº de dispositivos sem fluxómetro a considerar em funcionamento simultâneo a montante do tubo
FV Flow	Pipes	Registrar o caudal acumulado dos dispositivos com fluxómetro a montante do tubo
FV Quantity	Pipes	Registrar o nº de dispositivos com fluxómetro a considerar em funcionamento simultâneo a montante do tubo
Inside Of	Pipe Accessories, Pipe Fittings, Pipes	Identificar o tipo de elementos que embebe a tubagem
Main Vertical	Pipes	Identificar tubos correspondentes a prumadas principais

4.5.4. FAMÍLIAS

Em relação às famílias, é necessário ter presente que, tal como explicado em 4.2 e 4.3, terão de estar configuradas consoante a abordagem a adotar. Os seus parâmetros deverão estar definidos como na Tabela 6 para o correto funcionamento dos fluxos de trabalho. Para o *template* não ficar sobrecarregado com as famílias de ambas as abordagens, é aconselhável carregar o conjunto de famílias consoante a abordagem a adotar antes do início da modelação.

Tendo em consideração que é o projeto de arquitetura que define o modelo e a marca de equipamentos a instalar, e por simplificação de modelação, as famílias foram modeladas apenas como conector e não com a forma geométrica de cada dispositivo. Os diferentes dispositivos foram definidos como tipos dessas famílias. A sua representação pode ser observada na Figura 44. É necessário ter em atenção o facto de, por defeito, as famílias da configuração Preset estarem pré-definidas para Flush Tank, isto é, como não tendo fluxómetro. Os equipamentos com fluxómetros deverão ser configurados com o parâmetro Flush Valve de modo a habilitar a abordagem Preset.

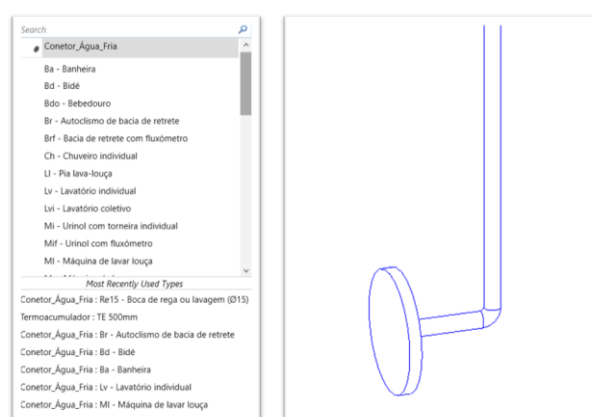


Figura 44 - Representação geométrica das famílias Revit

4.5.5. SCRIPTS

De modo a ser possível automatizar os processos de cálculo e dimensionamento, de verificação de disposições regulamentares e verificações de auxílio á coordenação e preparação do projeto, foram desenvolvidos vários scripts recorrendo à ferramenta de programação visual Dynamo.

Na Tabela 7 encontram-se listados, com respetiva designação e descrição do processo, todos os *scripts* desenvolvidos e referidos ao longo da presente dissertação.

Tabela 7 - *Scripts* desenvolvidos para apoio ao dimensionamento e modelação

Scripts	Designação	Capítulos	Descrição
A.1	FT_FV_Flows_Quantity	4.2	Determina em cada troço o número de equipamentos com e sem fluxómetro e respetivo caudal acumulado
A.2	Export_Info_Pipes_to_Excel	4.2	Exporta a informação do modelo para uma tabela Excel, que será utilizada para o dimensionamento

Scripts	Designação	Capítulos	Descrição
A.3	Import_Info_Diameter_to_Revit	4.2	Importa os diâmetros finais dos tubos para o modelo Revit
B	Check_Pipes_Walls	4.3.1	Identifica a tubagens e seus constituintes que está embutida nas paredes de arquitetura
C	Check_Pipes_Courettes	4.3.2	Identifica a tubagem presente nas courettes
D	Check_Main_Vertical	4.3.3	Identifica as prumadas principais do projeto
E	Check_Max_Height	4.3.4	Fornecer o valor da diferença de cota máxima para integrar o cálculo das verificações de pressão
F	Check_CW_HW_Clearance	4.3.5	Verifica se é cumprida a disposição construtiva das tubagens de água quente e água fria que no mínimo terá de distar 5 cm uma da outra

4.5.6. VIEW TEMPLATES

A aplicação de *View Templates* é uma mais valia para o processo de modelação e dimensionamento do projeto. No ficheiro de *template* Revit foram criados 3 *View Templates* distintos, nomeadamente:

- *Project_Plumbing_Plan*: Utilizado para plantas de projeto, inclui representação unifilar e exclui todos as plantas de projeto de arquitetura de auxílio à modelação;
- *Print_Project_Plumbing_Plan*: Semelhante ao anterior, mas preparado para impressão, converte as cores dos elementos para escala cinza;
- *Work_Plumbing_Plan*: Contém filtros de visualização para auxiliar à modelação e verificação do modelo; os elementos são representados em verdadeira grandeza.

As legendas estão também já configuradas para fazer a identificação do diâmetro das tubagens assim como para auxiliar na verificação das velocidades do projeto. É importante referir que as configurações do *template* são gerais e aptas para qualquer projeto, pelo que, para eventuais necessidades específicas deverá ser realizada uma adaptação das configurações do *template* para corresponder às necessidades particulares do projeto.

5

CASO DE ESTUDO

5.1. INTRODUÇÃO AO CASO DE ESTUDO

As ferramentas e processos desenvolvidos nos capítulos anteriores foram aplicados a um caso prático com o intuito de se validar os resultados obtidos e comprovar a sua aplicabilidade. O caso de estudo escolhido para aplicação das ferramentas desenvolvidas foi o exemplo prático presente no Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas do LNEC (Pedroso 2000). Trata-se de um edifício de habitação multifamiliar constituído por 5 pisos, sendo que o primeiro piso constitui uma zona comum onde se localizam as arrecadações e garagens. Os restantes 4 pisos integram duas habitações de tipologia T3 de tipo duplex.

O abastecimento de água ao edifício será feito através da ligação entre a rede pública e o ramal de ligação, com uma pressão disponível de 400 kPa. O material escolhido para a constituição das tubagens será o aço galvanizado para ambos os sistemas, tanto de água fria como de água quente. Para além da execução da rede do projeto de abastecimento foi também modelado o modelo de arquitetura do edifício, representado na Figura 45 tendo como base as plantas presentes no manual.

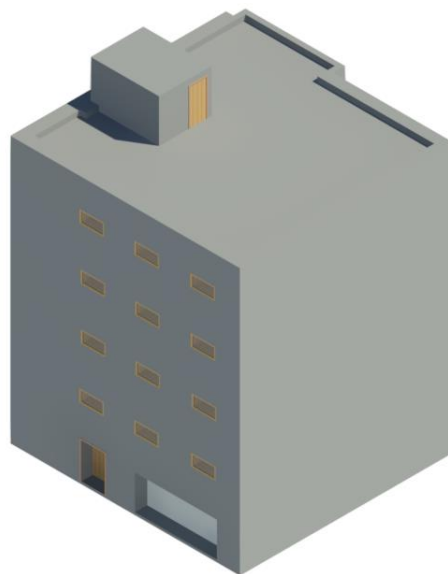


Figura 45 - Modelo de arquitetura do caso de estudo

Os principais objetivos para a realização do caso de estudo são os seguintes:

- Confrontar o dimensionamento realizado a partir do modelo da abordagem pela configuração Preset com o dimensionamento calculado no exemplo descrito no manual;
- Desenvolver uma análise comparativa entre o pré-dimensionamento realizado com base na abordagem com a configuração Fixture units e o dimensionamento final baseado na abordagem com a configuração Preset;
- Testar a aplicabilidade dos *scripts* de verificação de critérios de conformidade ou de disposições espaciais.

5.2. APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PELA CONFIGURAÇÃO FIXTURE UNITS

O *template* descrito no capítulo 4.5 foi utilizado como ponto de partida para a construção do modelo da rede. O modelo de arquitetura foi criado separadamente num ficheiro à parte e ligado ao modelo da rede para servir como base de modelação. As plantas com a definição da rede foram igualmente importadas para o modelo de modo a facilitar a construção da rede conforme descrito no projeto original. Após a importação e o respetivo alinhamento das referências, foram introduzidos os dispositivos recorrendo às famílias configuradas com *fixture units*, procedendo-se posteriormente à modelação das redes de abastecimento de água fria e de água quente para os vários pisos, conforme apresentado para o Piso 2 na Figura 46.

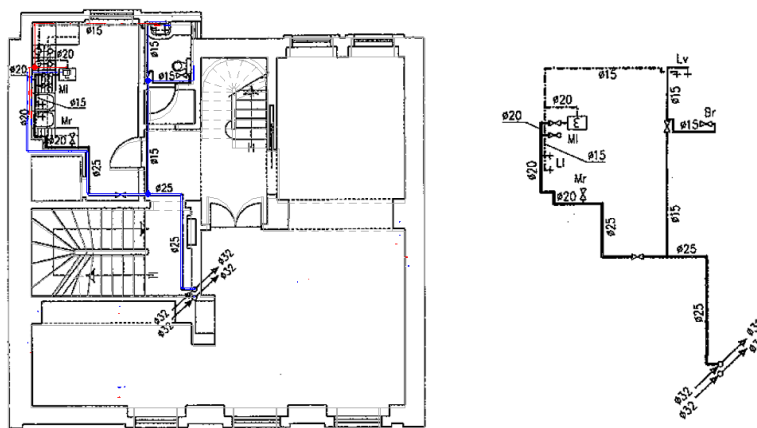


Figura 46 - Modelo de abastecimento de água: planta de trabalho do piso 2

As redes foram modeladas com tubagem de aço galvanizado conforme definido no projeto. Relativamente ao alinhamento dos traçados, considerou-se, para efeitos de modelação, a disposição real da tubagem embutida na parede, por oposição à representação genérica unifilar adotada no projeto original em que o traçado se encontra fora da parede. A opção pela modelação do traçado numa ótica de implantação real justifica-se pelo facto de pretender obter um protótipo da rede o mais parecido possível com a realidade. O modelo final das redes encontra-se disposto na Figura 47.

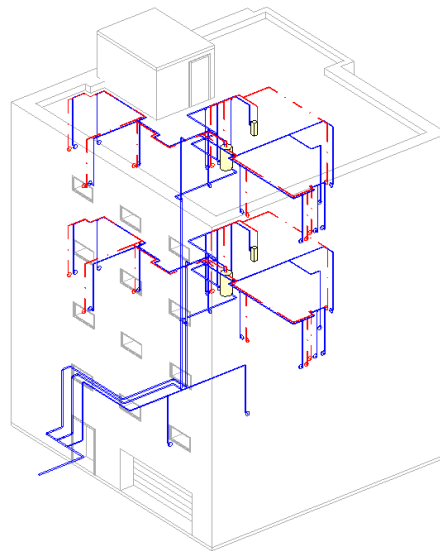


Figura 47 - Vista 3D do modelo de abastecimento de água

Para se proceder ao pré-dimensionamento do sistema de abastecimento de água fria recorreu-se à ferramenta *Duct/Pipe Sizing*, com a opção *Match Connector Size* selecionada de modo a garantir o diâmetro do ramal de alimentação aos dispositivos. Foi estabelecido um limite de velocidade igual a 1 m/s por se tratar de um edifício de habitação. Da análise da tabela “Pré-dimensionamento”, cujos valores podem ser consultados na Tabela A.5 do Anexo II, verificou-se que o facto de o diâmetro do ramal de alimentação dos dispositivos ter sido fixado a partir do diâmetro do conector do dispositivo ($\text{Ø}15$) resultou na obtenção de velocidades superiores a 1 m/s em alguns desses troços. Apesar de os valores registados ultrapassarem o limite definido na ferramenta *Duct/Pipe Sizing*, em nenhuma situação foram ultrapassados os 2 m/s regulamentares. De seguida gerou-se o *Pipe Pressure Loss Report* de onde se obtém o caminho crítico de pressões. O caminho crítico dado pelo relatório encontra-se assinalado a verde na Figura 48.

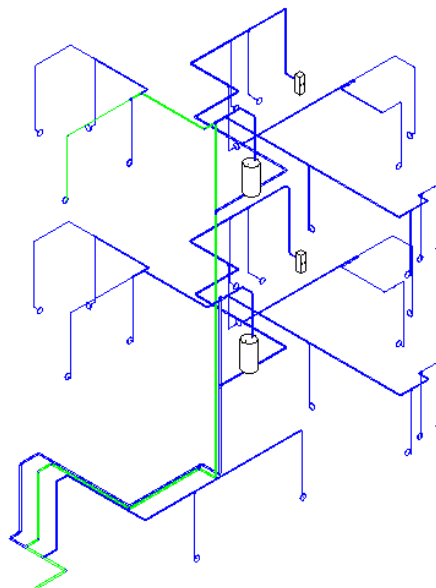


Figura 48 - Caminho crítico atribuído pelo *Pipe Pressure Loss Report*

No exemplo prático do manual é definido um caminho crítico diferente, conforme é possível constatar na Figura 49, onde este se encontra identificado a laranja. Este facto pode ser explicado por influência de vários fatores, incluindo: o cálculo da perda de carga ser realizado por fórmulas diferentes, sendo no manual utilizada a fórmula de *Flamant* [Equação 9] e no modelo Revit a Equação de Colebrook & White [Equação 11]; o dimensionamento do exemplo prático é diferente do pré-dimensionamento dado pela ferramenta *Duct/Pipe Sizing* e daí resultam diâmetros e velocidades diferentes das consideradas no exemplo; por fim, o comprimento da tubagem se encontra definido rigorosamente como no exemplo no manual, na medida em que foi realizada uma modelação do traçado de acordo com as condições reais de instalação, por oposição à adoção de comprimentos representativos do traçado genérico considerado no exemplo.

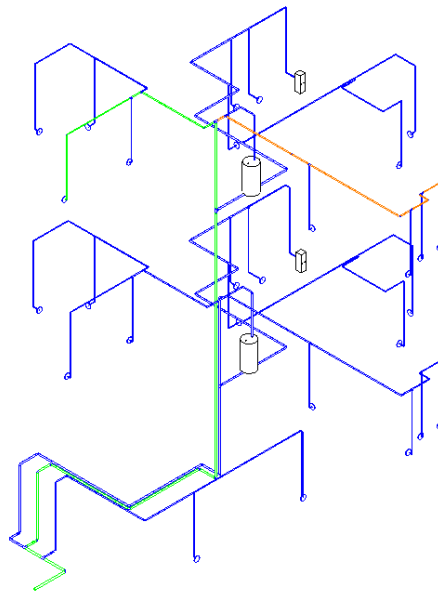


Figura 49 - Caminho crítico atribuído pelo *Pipe Pressure Loss Report* versus caminho crítico identificado pelo manual

Como resultado deste pré-dimensionamento, obtêm-se valores próximos dos finais para os diâmetros da tubagem e é identificado o caminho crítico para verificação e controlo das pressões de serviço. Posteriormente, procede-se à aplicação da abordagem com a configuração *Preset* para se obter o dimensionamento final do projeto.

5.3. APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PELA CONFIGURAÇÃO PRESET

A aplicação da abordagem *Preset* permite obter o dimensionamento final do projeto. Não sendo fundamental que a sua aplicação seja antecedida da abordagem *Fixture Units*, é, no entanto, o que se verifica para o presente caso de estudo. Nestas condições, torna-se necessário ajustar o modelo da rede cujos dispositivos se encontram definidos com as configurações em *fixture units* e passá-los para a configuração *preset*. Apesar do presente caso de estudo não incluir dispositivos com fluxómetro, sublinha-se que nestas situações é indispensável configurar as respetivas famílias com o parâmetro *Flush Valve*, conforme explicado no Capítulo 4.3.

Após a configuração das famílias dos dispositivos para a configuração *Preset*, procedeu-se à aplicação do *script A.1* para determinar o número de dispositivos e o caudal acumulado em todos os segmentos da tubagem. Como exemplo do resultado da aplicação desta rotina, apresenta-se na Figura 50 os parâmetros *FT Quantity* e *FT Flow* antes e após a aplicação do *script*. Comparando os valores obtidos para o caudal

com os valores registados no Quadro XLIV do manual do LNEC, é possível verificar que o valor do caudal acumulado no ramal de ligação é de 6,70 L/s para ambas as situações.

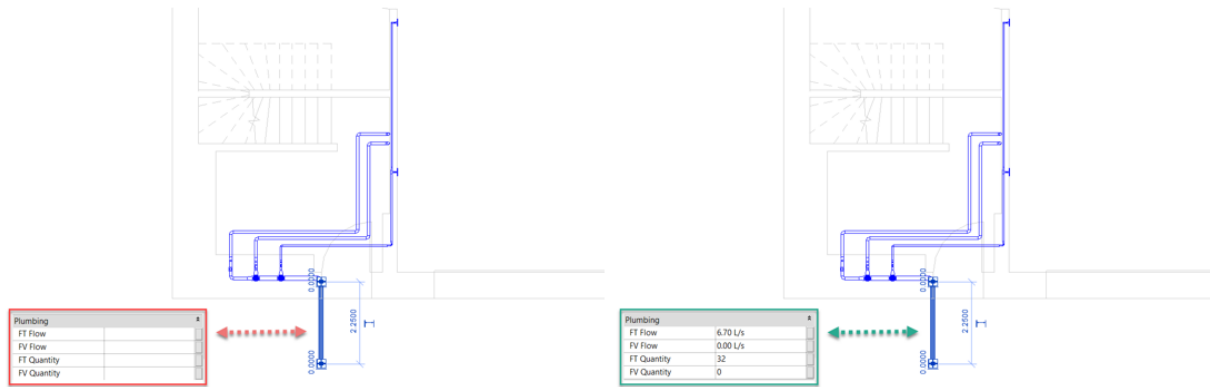


Figura 50 - Informação do ramal de ligação antes e após da execução do *script A.1*

Após a execução do *script A.2* o processo de trabalho transita do Revit para o Excel, mais propriamente para a folha de cálculo que permite realizar o dimensionamento da rede. A rotina integra automaticamente um conjunto de parâmetros numa folha “Dados In” que alimenta a folha onde se encontram definidas as fórmulas para o cálculo e dimensionamento da rede. Os elementos da folha “Dados In” são apresentados na Tabela A.7 do Anexo II.

De forma análoga aos parâmetros de entrada, também os parâmetros de saída a exportar da folha de Excel para o Revit através do *script A.3* são compilados numa folha à parte com o nome “Dados Out”. Esta folha é diretamente alimentada a partir dos resultados da folha de dimensionamento. A separação dos dados de entrada e de saída dos dados do dimensionamento destina-se a garantir que as operações de importação e exportação não alteram as funções programadas no Excel para o cálculo da rede. Para além do diâmetro da tubagem, também o parâmetro Revit ID é incluído na folha “Dados Out” de modo a ser possível mapear os diâmetros à respetiva tubagem, caso os dados se encontrem desorganizados.

Os dados obtidos na folha “Dados Out” encontram-se dispostos na Tabela A.8 do Anexo II. Na Figura 51 é possível ver parte da rede antes e depois da execução do *script A.3*. Os diâmetros encontram-se identificados com um código de cores automático aplicado com a ferramenta *Pipe Legend*.

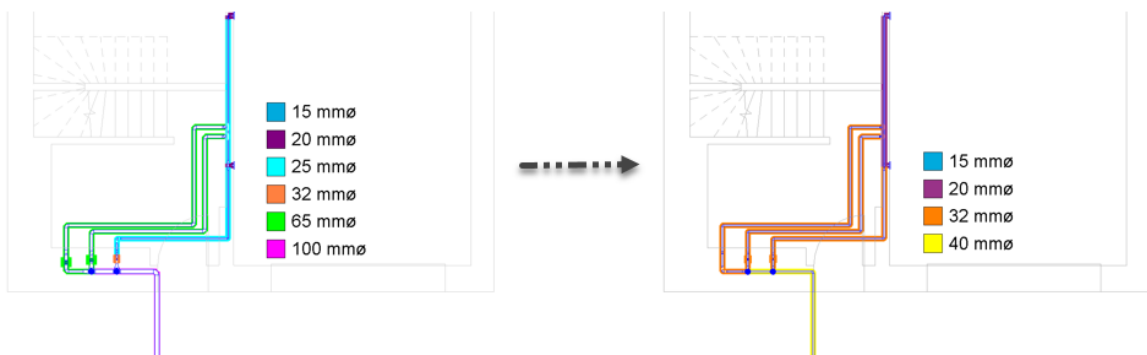


Figura 51 - Representação da tubagem antes e após da execução do *script A.3*

Importa referir que no fim do processo é necessário verificar se todas as ligações ficaram bem definidas, na medida em que pode ser necessário ajustar dimensões dos elementos de ligação entre tubos, sendo frequente que o redimensionamento da rede resulte na criação de cones de transição de diâmetro de forma não representativa com a instalação real pretendida.

De forma a comprovar que o dimensionamento obtido por este método corresponde ao definido no exemplo prático do manual do LNEC e tendo em conta que o piso 2 é igual ao piso 4 e o piso 3 igual ao 5, representa-se uma comparação entre as plantas do piso 2 e 3 do manual com as plantas finais extraídas do modelo. Na Figura 52 e Figura 53 estão representas as plantas dos pisos mencionados.

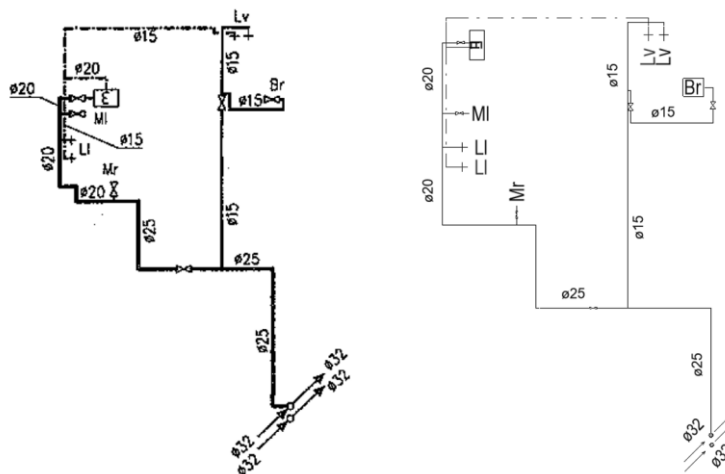


Figura 52 - Plantas do piso 2

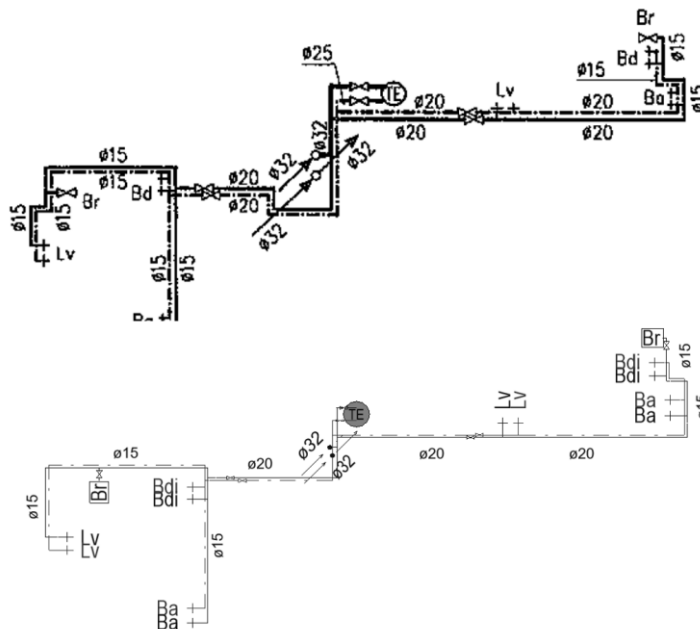


Figura 53 – Plantas do piso 3

5.4. ANÁLISE COMPARATIVA

Após se obter os resultados finais de ambas as abordagens, procurou-se realizar uma análise comparativa dos resultados. Esta análise permitirá perceber em que medida os resultados obtidos a partir da abordagem pela configuração Fixture Units se aproximam dos resultados de projeto obtidos pela configuração Preset e se é ou não viável a sua utilização como modelo de pré-dimensionamento.

Para isso optou-se por se fazer duas tabelas comparativas, uma com a comparação dos ramais de introdução e ligação, presente na Tabela 8 e outra com os ramais de distribuição e alimentação, representada na Tabela 9.

Tabela 8 - Comparação entre os ramais de introdução e ligação

Troço	Revit ID	Dispositivos	Configuração Fixture units				Configuração Preset				[FU-PRESET]			
			Fixture Units	Qc [L/s]	DN [mm]	V [m/s]	ΔH [m.c.a]	Qc [L/s]	DN [mm]	V [m/s]	ΔH [m.c.a]	ΔQ	ΔV	ΔH
1	891286	2Re+2Mr+2Ml+2Ll+6Lv+6Br+4Bd+4Ba+2Te+2E	53,165	1,89	50	0,86	0,0305	1,45	40	1,05	0,074	0,44	-0,19	-0,0435
2	892362	2Mr+2Ml+2Ll+6Lv+6Br+4Bd+4Ba+2Te+2E	48,406	1,81	50	0,82	0,014	1,38	40	1	0,034	0,43	-0,18	-0,02
3	893545	1Mr+1Ml+1Ll+3Lv+3Br+2Bd+2Ba+1Te+2E	24,2018	1,34	40	0,97	0,022	0,97	32	0,95	0,032	0,37	0,02	-0,01
\bar{x}											0,41	-0,12	-0,025	

Tabela 9 - Comparação entre os ramais de distribuição e alimentação

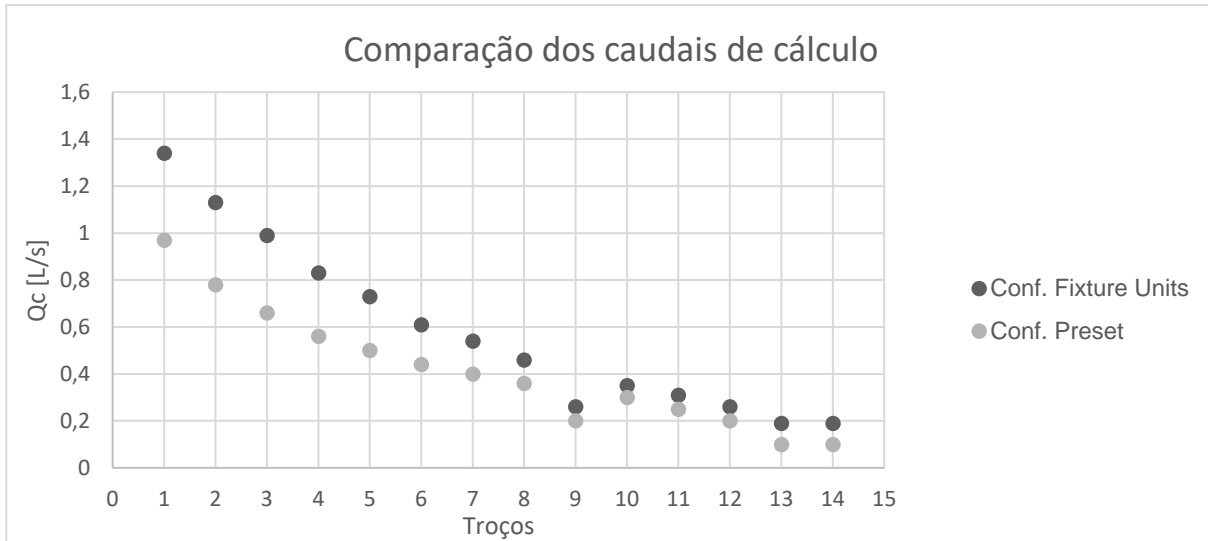
Troço	Revit ID	Dispositivos	Configuração Fixture units				Configuração Preset				[FU-PRESET]			
			Fixture Units	Qc [L/s]	DN [mm]	V [m/s]	ΔH [m.c.a]	Qc [L/s]	DN [mm]	V [m/s]	ΔH [m.c.a]	ΔQ	ΔV	ΔH
1	893938	1Mr+1Ml+1Ll+3Lv+3Br+2Bd+2Ba+1Te+2E	24,202	1,34	40	0,97	0,134	0,97	32	0,95	0,189	0,37	0,02	-0,055
2	895558	2Br+2Bd+2Ba+2Lv+1Te	15,87	1,13	40	0,82	0,097	0,78	32	0,77	0,129	0,35	0,05	-0,032
3	897242	1Te+1Lv+1Ba+1Bd+1Br	11,506	0,99	32	0,97	0,004	0,66	32	0,65	0,002	0,33	0,32	0,002
4	894746	1Ml+1Mr+1Ll+1Lv+1Br+1E	8,332	0,83	32	0,81	0,1	0,56	25	0,96	0,231	0,27	-0,15	-0,131
5	894184	1Mr+1Ml+1Ll+1E	6,744	0,73	32	0,71	0,035	0,5	25	0,86	0,086	0,23	-0,15	-0,051
6	894637	1Ml+1Ll+1E	5,158	0,61	32	0,6	0,033	0,44	20	1,19	0,265	0,17	-0,59	-0,232
7	943271	1Lv+1Bd+1Ba+1Br	4,364	0,54	25	0,92	0,18	0,4	20	1,09	0,083	0,14	-0,17	0,097
8	902246	1Ba+1Bd+1Br	3,571	0,46	25	0,79	0,189	0,36	20	0,98	0,048	0,1	-0,19	0,141
9	895103	1Br+1Lv	1,587	0,26	20	0,71	0,262	0,2	15	0,98	0,809	0,06	-0,27	-0,547
10	891919	1Re	2,381	0,35	20	0,95	0,428	0,3	20	0,81	0,374	0,05	0,14	0,054
11	902243	1Ba	1,984	0,31	15	1,54	0,859	0,25	15	1,23	0,011	0,06	0,31	0,848
12	894634	1Ll	1,587	0,26	15	1,29	0,61	0,2	15	0,98	0,392	0,06	0,31	0,218
13	895182	1Br	0,794	0,19	15	0,93	0,329	0,1	15	0,49	0,121	0,09	0,44	0,208
14	895081	1Lv	0,794	0,19	15	0,93	0,329	0,1	15	0,49	0,121	0,09	0,44	0,208
\bar{x}											0,17	0,04	0,05	

Os troços foram ordenados por ordem decrescente de caudal. Pela análise dos resultados é possível perceber que os caudais de cálculo pelo método Fixture Units são superiores aos do método Preset, sendo de resto um resultado esperado, dadas as particularidades da conversão de *fixture units* para L/s abordadas em 3.4.2.1.

Na Figura 54 apresenta-se o gráfico de comparação dos caudais de cálculo para as duas abordagens, sendo possível concluir que a diferença é mais significativa nos ramais de distribuição em comparação

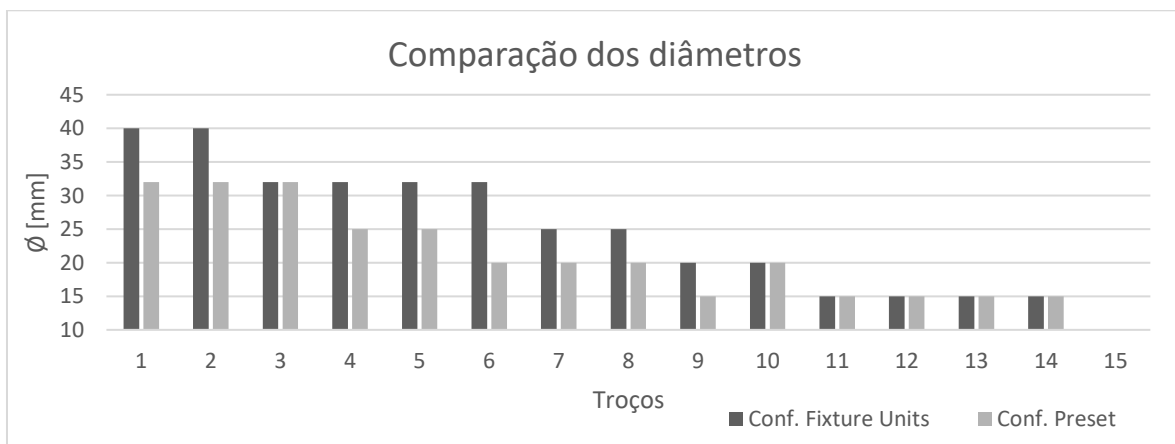
com os ramais de alimentação. Era de resto expectável que assim fosse, o que se explica pelo facto de os caudais instantâneos definidos em equipamentos FU serem superiores aos definidos no regulamento português, como referido em 2.4, sendo mais notório esse incremento nos ramais de distribuição pois reúnem vários equipamentos ao contrário dos ramais de ligação.

Figura 54 - Comparação dos caudais de cálculo de ambas as abordagens



O facto de o caudal de cálculo ser superior na abordagem Fixture Unit resulta em diâmetros superiores para os limites de velocidade serem cumpridos. No caso dos ramais de alimentação, como resultado da opção *Match Conector Size* na ferramenta *Duct/Pipe Sizing*, os diâmetros são definidos pelos conectores dos dispositivos o que resulta em valores de diâmetros iguais aos dimensionados pelo método Preset. Por outro lado, as velocidades, por consequência, ficam superiores nesses troços, o que resulta em perdas de cargas totais mais elevadas. No gráfico da Figura 55 é possível visualizar a comparação dos diâmetros nos diferentes troços.

Figura 55 - Comparação dos diâmetros de dimensionamento de ambas as abordagens



Pela análise do gráfico da Figura 55 conclui-se que os diâmetros obtidos pela abordagem Fixture Units ou correspondem ao mesmo valor do dimensionamento obtido pelo método Preset ou se encontram sobredimensionados para um diâmetro imediatamente acima do esperado. Assim sendo, admite-se que os resultados obtidos por esta abordagem possam ser utilizados na ótica de um pré-dimensionamento.

5.5. APLICAÇÃO DOS SCRIPTS DE VERIFICAÇÕES

Foram aplicados ao caso de estudo os *scripts* criados para auxílio de verificações regulamentares, disposições construtivas e verificações espaciais. De seguida são ilustrados os resultados da aplicação das rotinas ao modelo.

- *Script B - Check_Pipes_Walls*

Após a aplicação desta rotina ao modelo, foi atribuído ao parâmetro Inside Of o comentário “Paredes” a todos os elementos que se encontram embutidos nas paredes. De modo a ser mais fácil a sua identificação, foi aplicado um filtro de visualização com a cor lilás sobre os elementos classificados desta forma, conforme se representado na Figura 56.

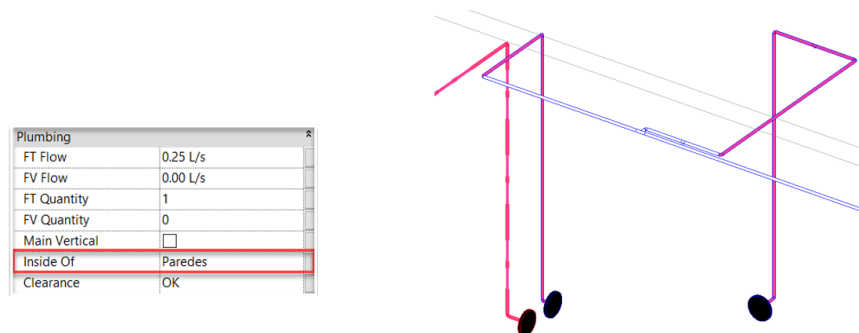


Figura 56 - Aplicação do *script B - Check_Pipes_Walls*

- *Script C - Check_Pipes_Courettes* e *Script D - Check_Main_Vertical*

Os *scripts C* e *D* são de certa forma complementares na medida em que as prumadas principais se encontram dentro das *courettes*. Da aplicação das rotinas obteve-se a respetiva classificação dos elementos nos parâmetros Inside Of e Main Vertical. Conforme representado na Figura 57, foram identificados a verde a tubagem classificada como “*courette*” no parâmetro Inside Of. A classificação dos elementos dentro das *courettes* e das prumadas verticais principais definida com a aplicação das rotinas foi validada pela inspeção visual do modelo.

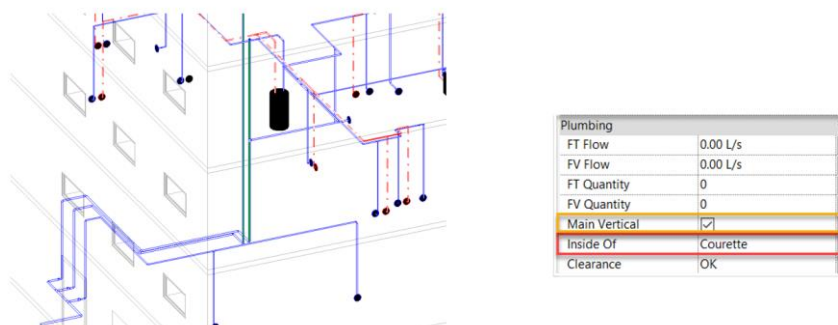


Figura 57 - Aplicação do *script C - Check_Pipes_Courettes* e *script D - Check_Main_Vertical*

- *Script E - Check_Max_Height*

Da aplicação do *script E* obteve-se um valor de aproximadamente 14,3 no nó “Diferença máxima de altura”, conforme apresentado na Figura 58. Esta informação corresponde à diferença de cota (Z_n) necessária para integrar o cálculo da verificação das condições de pressão [Equação 16] no ponto mais desfavorável. O valor obtido foi integrado na folha de cálculo para verificação das condições de pressão na rede.

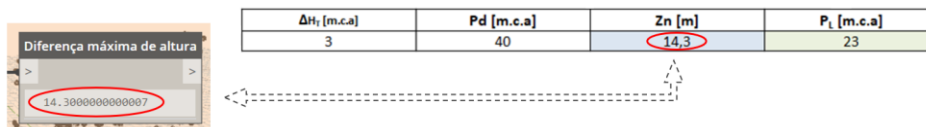


Figura 58 - Aplicação do *script E - Check_Max_Height*

- *Script F - Check_CW_HW_Clearance*

Com aplicação do *script F* foi possível averiguar qual a tubagem que necessitaria de ajuste para cumprir a distância mínima de 5 cm regulamentada. Na Figura 59 representam-se os dois tipos de resultados obtidos no parâmetro Clearance, “OK” nas situações em que a tubagem cumpre a distância de segurança mínima e “KO” quando não cumpre. A tubagem que não cumpre a distância mínima e que necessita de ser revista foi identificada a amarelo na Figura 59 com recurso a um filtro de visualização.

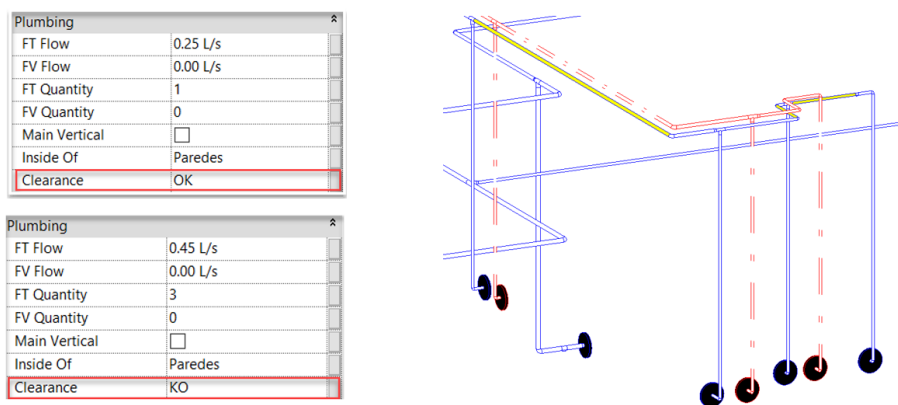


Figura 59 - Aplicação do *script F - Check_CW_HW_Clearance*

6

CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do desenvolvimento da presente dissertação esteve sempre presente a preocupação de adaptar as ferramentas disponibilizadas pelo Revit aos pressupostos da legislação portuguesa, no que à realização do projeto de redes prediais de abastecimento de água diz respeito. Após a análise do *software*, foram encontradas algumas dificuldades nos pressupostos de cálculo em comparação com o regulamento português, sendo o principal obstáculo a integração do coeficiente de simultaneidade no cálculo do caudal conforme definido na legislação portuguesa, concluindo-se não ser possível realizar o dimensionamento de um projeto de abastecimento de águas em conformidade com as disposições regulamentares portuguesas, recorrendo exclusivamente ao motor de cálculo do Revit.

Pela análise dos critérios regulamentares internacionais integrados no Revit relativamente aos adotados no regulamento português, verifica-se que é possível tirar partido do método de cálculo baseado em unidades de utilização, *fixture units*, para se obter o traçado da rede e o seu pré-dimensionamento. Partindo deste modelo e ajustando-o para uma configuração de análise direta de caudais, *preset*, obtém-se um modelo de onde é possível extrair, para toda a tubagem, dados de grande utilidade ao dimensionamento final do projeto, nomeadamente, o número de dispositivos ligados a jusante, o caudal acumulado e o comprimento de cada tubo. Depois de organizados, os dados são exportados para uma folha de cálculo onde se realiza o cálculo e o dimensionamento da rede, sendo as novas dimensões da tubagem resultantes do dimensionamento importadas de volta para o modelo e integradas automaticamente na geometria dos elementos. A generalidade das operações de manipulação, exportação e importação de dados do modelo são realizadas de forma automática recorrendo às rotinas desenvolvidas no âmbito deste trabalho com recurso à programação visual.

A simbologia foi também um aspeto em foco visto tratar-se de um aspeto fundamental na criação dos desenhos de projeto. Pela análise do *software*, conclui-se que é possível incluir, em geral de forma automática, toda a simbologia e definições de formatação definidos no RGSPDADAR de modo a serem extraídos desenhos cuja representação gráfica se encontre de acordo com o esperado.

Para além do dimensionamento e dos processos de formatação e representação gráfica dos modelos, a metodologia contempla ainda rotinas de verificação espacial para coordenação com as restantes especialidades e a verificação de critérios regulamentares a partir dos modelos. Estas rotinas foram desenvolvidas recorrendo igualmente à programação visual, em particular através do programa Dynamo, tendo sido testadas e validadas no caso de estudo apresentado.

A utilização destas metodologias exige a preparação prévia de elementos como as famílias Revit e requer um certo nível de experiência por parte do utilizador. Apesar de se tratar de um processo com um certo nível de complexidade associado, após ultrapassada essa barreira, as mais valias da sua utilização são notórias. Integrar a metodologia BIM na realização dos projetos é um requisito cada vez mais exigido, no entanto, a realização de um projeto e a sua modelação são habitualmente processos independentes, sendo o projeto elaborado a partir dos meios tradicionais e posteriormente desenvolvido o seu modelo virtual através de uma ferramenta de modelação, o que constitui um desperdício de recursos, e não potencia a interligação das funcionalidades. A adoção desta metodologia permite conciliar a vertente de dimensionamento com a vertente de modelação, o que resulta na centralização da informação num único modelo, tornando as operações de coordenação, compatibilização e adaptação dos projetos mais simples e eficientes.

Resumindo, da análise realizada na presente dissertação, reconhece-se que não é possível satisfazer em simultâneo os vários requisitos de desenvolvimento do projeto recorrendo exclusivamente às ferramentas nativas da aplicação BIM analisada, no entanto, é possível e viável adotar uma metodologia que tire partido de diferentes ferramentas e automatize o fluxo de informação de modo a que o modelo BIM assuma um papel central e agregador relativamente a cada uma destas componentes.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Pela evolução deste estudo poderão continuar a ser desenvolvidas ferramentas de auxílio aos processos de coordenação e verificação do projeto de redes prediais de abastecimento de água, sobretudo, através da utilização da programação visual para criação de rotinas que automatizem estes processos.

Sugere-se a elaboração de um *script* que faça a compilação numa folha Excel de alguma da informação recolhida através das ferramentas já desenvolvidas, como por exemplo, o número de tubos verticais, o número de tubos dentro das *courettes* e variação de cota máxima.

Visto que a introdução dos símbolos relativos à identificação das prumadas é um processo manual, sugere-se a realização de um *script* com capacidade de identificação das prumadas principais e que atribua, automaticamente, a família *Detail Item* correspondente.

A elaboração de uma rotina com a capacidade de auxiliar na verificação das disposições das válvulas de seccionamento nos locais previstos, de forma automática, seria uma mais valia para complemento de todos os processos já desenvolvidos.

Por fim, o desenvolvimento mais ambicioso seria eliminar o Excel da equação através da transposição de todo o processo de cálculo para um programa desenvolvido em Dynamo, ou recorrendo mesmo ao desenvolvimento de um Add-in para o Revit.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernstein, Harvey M. *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets*. SmartMarket Report. 8-15, McGraw Hill Construction, USA, 2014.
- Monteiro, A. Lima, J. Henriques, S. Rodrigues, L. e Ribeirinho, L. (2016). *Implementação BIM numa empresa de estudos e projetos de Engenharia (CENOR)*. PTBIM. 1º Congresso Português de Building Information Modelling, [73-85], Universidade do Minho, Guimarães, 2016.
- Fountain, J. Langar, S (2018). *Building Information Modeling (BIM) outsourcing among general contractors*. Elsevier, 19 Junho 2018, [110], Elsevier, B.V.
- PAS 1192-2:2013. *Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modeling*. Reino Unido 2013.
- GSA Guide (2007). *Building Information Modeling Serie 01*. U.S. General Services Administration.
- COBIM (2012). *Common BIM Requirements Series 1*.
- SINGAPORE (2013). *Singapore BIM Guide – version 2*. Building and Construction Authority 2013.
- Nower. P (2013). *Get Pumped Up – Pressure Pipe System Curves, Power Loads and P&ID Validation*. Autodesk University 2013.
- Medeiros, C. (2017). *Abastecimento de água fria Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*. Universidade do Porto.
- Assis Paixão, M. (1999). *Águas e Esgotos em Urbanizações e Instalações Prediais*. (Orion, Ed.) (2ª Edição).
- Pedroso, V. M. R. (2000). *Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas*. (LNEC,Ed), Lisboa.
- RGSPDADAR (1995). *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*.
- Medeiros, C (2005). *Sistemas de Abastecimento Público e Predial no Porto*. Grundfos. Porto.
- ÁGUAS DO PORTO (2014-2018). *Regulamentos*. [Consult. nov. 2018], Disponível em : < URL: <https://www.aguasdoporto.pt/cliente/regulamentos> acedido dia 22/11/18 >
- Ferreira, H. E. (2016). *Redes prediais de abastecimento de água fria e drenagem de águas residuais- Análise regulamentar comparativa*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Sá, N. J. M. (2012). *Otimização de sistemas prediais de distribuição de água fria*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- *Manual de redes prediais (2011)*. EPAL, Versão 4.
- Baptista, F. P. (2011). *Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Quintela, A. C. (2005). *Hidráulica*. 9ª Edição, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

- International Code Council (2012). *IPC - International Plumbing Code*. (International Code Council, INC)
- AUTODESK, Inc (2019). *Products*. [Consult. dez.2018], disponível em: <URL: [https://www.autodesk.pt/products/overview](https://www.autodesk.pt/products/revit/overview) >
- AUTODESK, Inc (2019). *Mechanical Settings for piping*. [Consult. dez.2018], disponível em: <URL: <http://help.autodesk.com> >
- AUTODESK, Inc (2019). *Fixture units to Flow (GPM) Conversion*. [Consult. dez.2018], disponível em: <URL: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2019/ENU/?guid=GUID-4825D727-ED0F-4CE4-9F67-B684B3B36647> >
- Engineering ToolBox, (2007). *Converting WSFU to GPM*. [Consult. dez.2018], disponível em: <URL: https://www.engineeringtoolbox.com/wsfu-gpm-d_1074.html>
- bimTEC (2015). *Sobre BIM*. [Consult. dez.2018], disponível em: <URL: <http://www.bimtec.pt/p7-sobre-o-bim-pt> >
- Boehning, J (2015). *Programming Revit MEP? Say it Ain't Dynamo!*. Autodesk University 2015
- Archsmarter (2019). *What is Dynamo*. [Consult. dez.2018], disponível em: <URL: <https://archsmarter.com/what-is-dynamo-revit/>>

ANEXOS

ANEXO I

No anexo I estão apresentadas todas as Figuras remetidas para anexo.


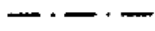




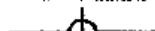
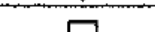
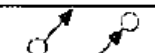







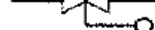

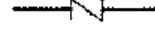
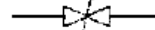

<i>Símbolo</i>	<i>Designação</i>
	Canalização de água fria
	Canalização de água quente
	Canalização de água quente de retorno
	Canalização de água para combate a incêndios
	Caleira para alojamento de canalizações ou encamisamento
	Cruzamento com ligação
	Cruzamento sem ligação
	Junta de dilatação
	Prumada ascendente com mudança de piso
	Prumada descendente com mudança de piso
	Queda da canalização da esquerda para a direita
	Queda da canalização da direita para a esquerda
	Filtro
	Purgador de ar
	Tomeira de serviço (sem ou com boca roscada)
	Torneira/válvula de seccionamento
	Válvula de flutuador
	Válvula redutora de pressão
	Válvula de retenção
	Válvula de segurança
	Vaso de expansão

Figura A.1 – Simbologia de canalizações e acessórios (Pedroso 2000)






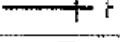







<i>Símbolo/sigla</i>	<i>Designação</i>
	Autoclismo
	Boca-de-incêndio interior
	Boca-de-incêndio ou de rega exterior
	Contador
	Esquentador
	Fluxómetro
	Marco de incêndio
	Termoacumulador eléctrico
	Termoacumulador a gás
	Depósito de água quente
	Sistema de regularização
	Bomba
	Grupo de pressurização
FG	Ferro galvanizado
FP	Ferro preto
FF	Ferro fundido
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de vinilo
Cu	Cobre
AI	Aço inox

Figura A.2. -Simbologia de aparelhos e materiais (Pedroso 2000)

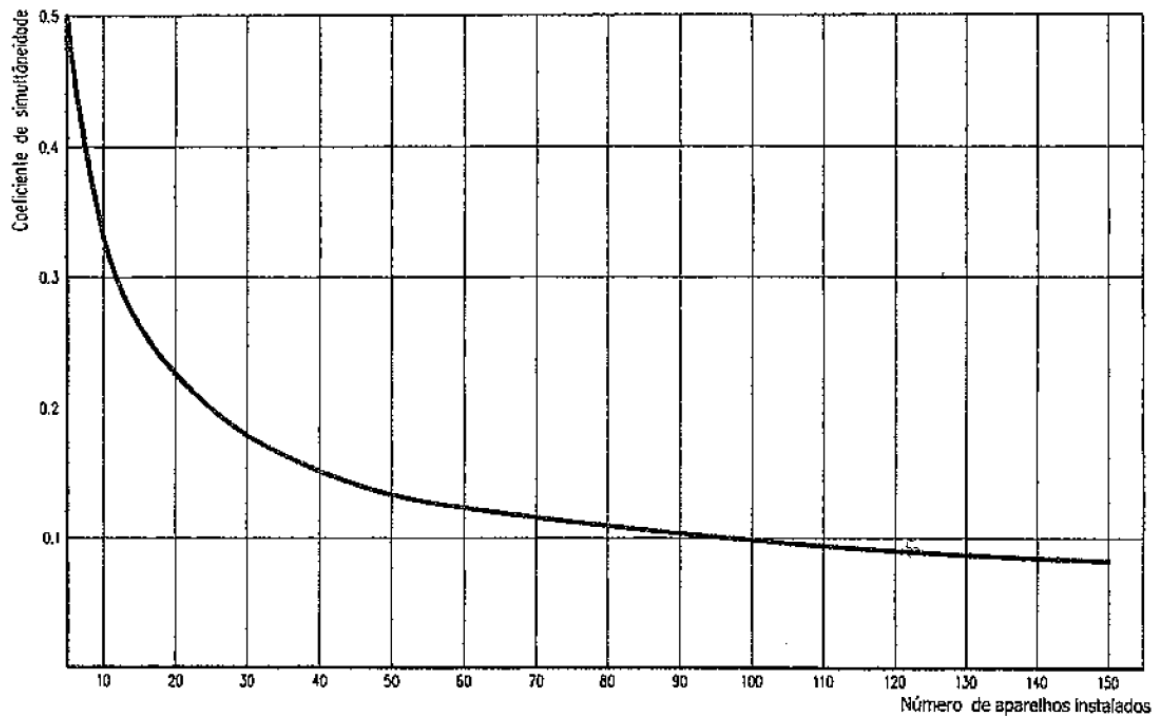


Figura A.3- Coeficientes de simultaneidade em função do número de dispositivos de utilização

(Pedroso 2000)

Neste anexo estão presentes todas as plantas constituintes do projeto após a sua modelação em Revit.

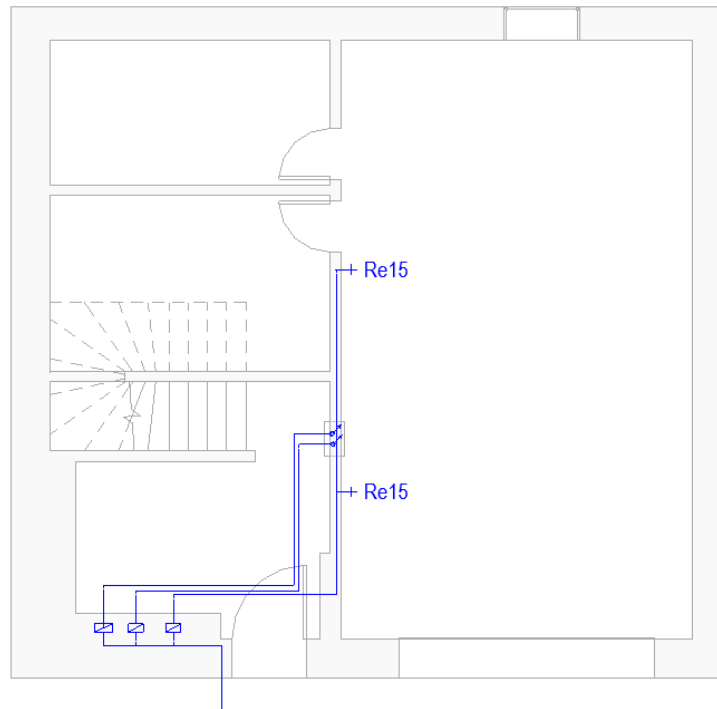


Figura A.4- Planta Piso 1

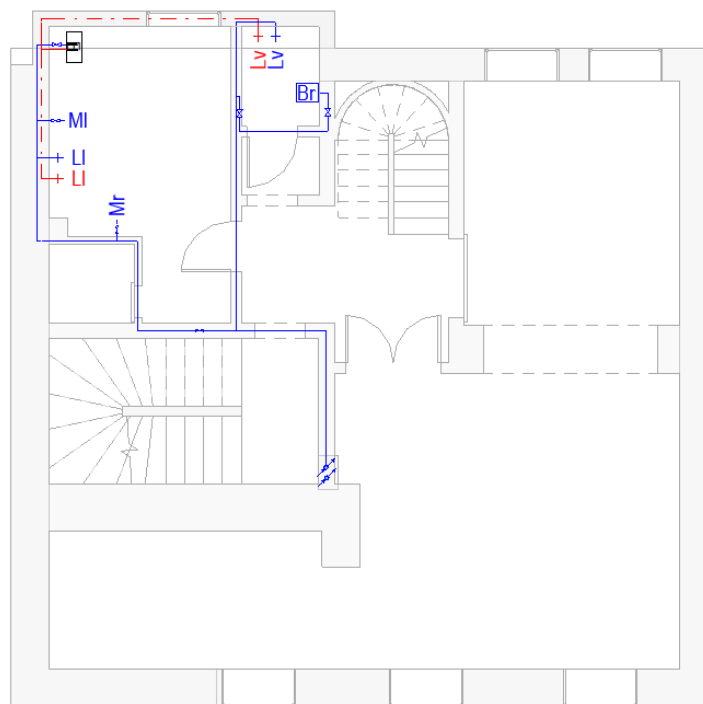


Figura A.5- Planta Piso 2

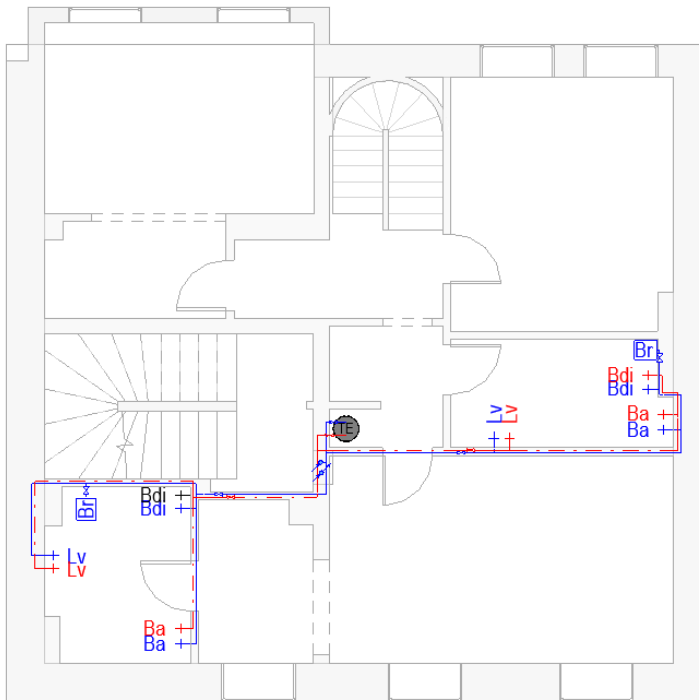


Figura A.6- Planta Piso 3

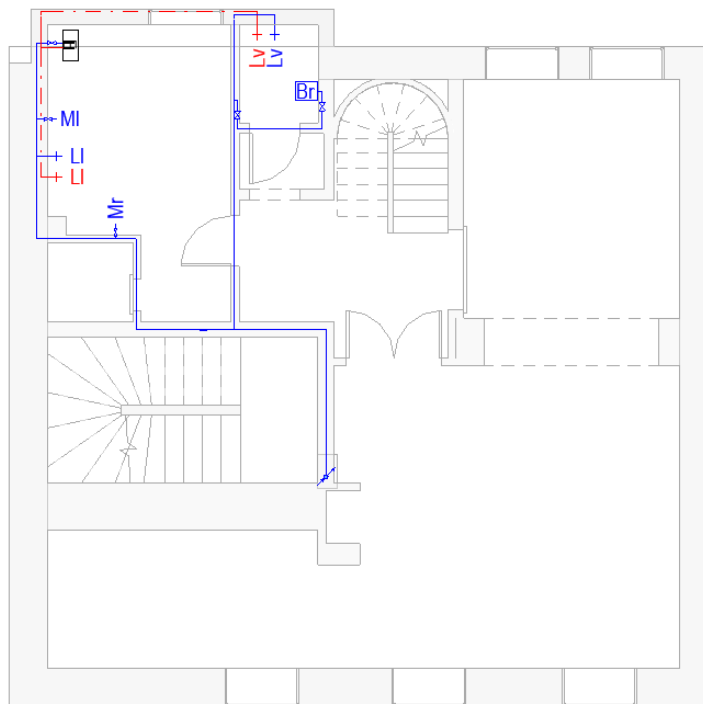


Figura A.7- Planta Piso 4

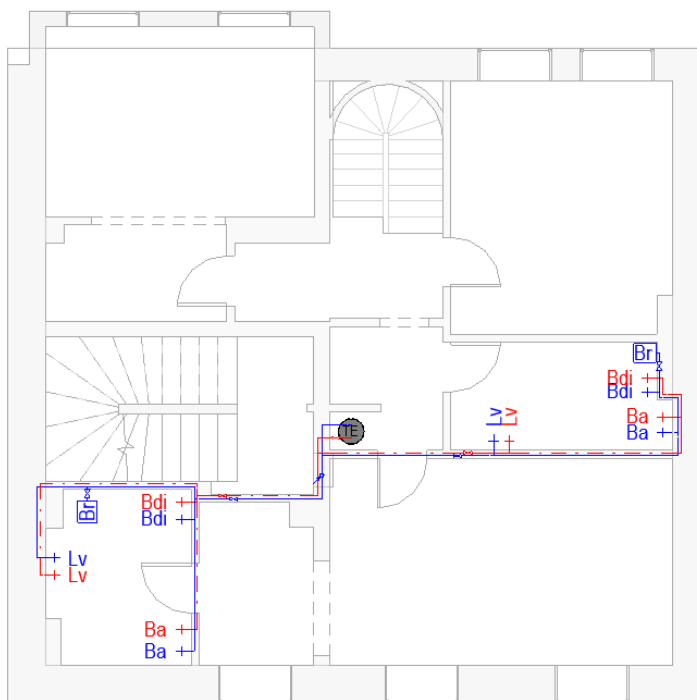


Figura A.8- Planta Piso 5

ANEXO II

No anexo II estão presentes todas as tabelas remetidas para anexo.

Tabela A.1- Caudais instantâneos dos dispositivos

Dispositivo	Símbolo	Q min (L/s)
Lavatório individual	Lv	0,10
Lavatório coletivo (por bica)	Lvi	0,05
Bidé	Bd	0,10
Banheira	Ba	0,25
Chuveiro individual	Ch	0,15
Pia de despejo com torneira de Ø15mm	Pd	0,15
Autoclismo de bacia de retrete	Br	0,10
Urinol com torneira individual	Mi	0,15
Pia lava-louça	LI	0,20
Bebedouro	Bdo	0,10
Máquina de lavar-louça	MI	0,15
Máquina de lavar-roupa	Mr	0,20
Tanque de lavar roupa	Tq	0,20
Bacia de retrete com fluxómetro	BrF	1,50
Urinol com fluxómetro	Mif	0,50
Boca de rega ou lavagem de Ø15mm	Re_15	0,30
Boca de rega ou lavagem de Ø20mm	Re_20	0,45
Esquentador	Te	0,20

Tabela A.2- Caudal mínimo para os respetivos dispositivos (adaptado IPC 2012)

Dispositivo	Ocupação	Tipo de controlo de abastecimento	Caudais mínimos em fixture units		
			Fria	Quente	Total
Conjunto de Casa de banho	Privado	Flush tank	2.7	1.5	3.6
Conjunto de Casa de banho	Privado	Flushometer valve	6.0	3.0	8.0
Banheira	Privado	Torneira	1.0	1.0	1.4
Banheira	Público	Torneira	3.0	3.0	4.0
Bidé	Privado	Torneira	1.5	1.5	2.0
Aparelho de combinação	Privado	Torneira	2.25	2.25	3.0
Máquina Lava-louça	Privado	Automático	-	1.4	1.4
Bebedouro	Escritórios, etc	3/8" válvula	0.25	-	0.25
Pia lava-louça	Privado	Torneira	1.0	1.0	1.4
Pia lava-louça	Hotel, restaurante	Torneira	3.0	3.0	4.0
Tanque (1até 3)	Privado	Torneira	1.0	1.0	1.4
Lavatório	Privado	Torneira	0.5	0.5	0.7
Lavatório	Público	Torneira	1.5	1.5	2.0
Pia de serviço	Escritórios, etc	Torneira	2.25	2.25	3.0
Chuveiro	Público	Misturadora	3.0	3.0	4.0
Chuveiro	Privado	Misturadora	1.0	1.0	1.4
Urinol	Público	1" flushometer valve	10.0	-	10.0
Urinol	Público	3/4" flushometer valve	5.0	-	5.0
Urinol	Público	Flush tank	3.0	-	3.0
Máquina lavar-roupa (8 lb)	Privado	Automático	1.0	1.0	1.4
Máquina lavar-roupa (8 lb)	Público	Automático	2.25	2.25	3.0
Máquina lavar-roupa (15 lb)	Público	Automático	3.03	3.0	4.0
Sanita	Privado	Flushometer valve	6.0	-	6.0
Sanita	Privado	Flush tank	2.2	-	2.2
Sanita	Público	Flushometer valve	10.0	-	10.0
Sanita	Público	Flush tank	5.0	-	5.0
Sanita	Privado ou público	Flushometer tank	2.0	-	2.0

Tabela A.3- Sistemas de abastecimento segundo o IPC- *Fixture units* to gpm

Fixture units	IPC			
	Supply Systems Predominantly Flush Tanks		Supply Systems Predominantly Flush valves	
	Gallons per minute	Cubic feet per minute	Gallons per minute	Cubic feet per minute
1	3	0.04104	-	-
2	5	0.0684	-	-
3	6,5	0.86892	-	-
4	8	1.06944	-	-
5	9,4	1.256592	15	2.0052
6	10,7	1.430376	17,4	2.326032
7	11,8	1.577424	19,8	2.646364
8	12,8	1.711104	22,2	2.967696
9	13,7	1.831416	24,6	3.288528
10	14,6	1.951728	27	3.60936
11	15,4	2.058672	27,8	3.716304
12	16	2.13888	28,6	3.823248
13	16,5	2.20572	29,4	3.930192
14	17	2.27256	30,2	4.037136
15	17,5	2.3394	31	4.14408
16	18	2.40624	31,8	4.241024
17	18,4	2.459712	32,6	4.357968
18	18,8	2.513184	33,4	4.464912
19	19,2	2.566656	34,2	4.571856
20	19,6	2.620128	35	4.6788
25	21,5	2.87412	38	5.07984
30	23,3	3.114744	42	5.61356
35	24,9	3.328632	44	5.88192
40	26,3	3.515784	46	6.14928
45	27,7	3.702936	48	6.41664
50	29,1	3.890088	50	6.684
60	32	4.27776	54	7.21872
70	35	4.6788	58	7.75344
80	38	5.07984	61,2	8.181216
90	41	5.48088	64,3	8.595624
100	43,5	5.81508	67,5	9.0234
120	48	6.41664	73	9.75864
140	52,5	7.0182	77	10.29336
160	57	7.61976	81	10.82808
180	61	8.15448	85,5	11.42964
200	65	8.6892	90	12.0312
225	70	9.3576	95,5	12.76644
250	75	10.026	101	13.50168
275	80	10.6944	104,5	13.96956
300	85	11.3628	108	14.43744
400	105	14.0364	127	16.97736
500	124	16.57632	143	19.11624
750	170	22.7256	177	23.66136
1000	208	27.80544	208	27.80544
1250	239	31.94952	239	31.94952
1500	269	35.95992	269	35.95992
1750	297	39.70296	297	39.70296
2000	325	43.446	325	43.446
2500	380	50.7984	380	50.7984
3000	433	57.88344	433	57.88344
4000	525	70.182	525	70.182
5000	593	79.27224	593	79.27224

Nota: Para conversão de Fixture units para $Q_{a PT}$ considerou-se 1 WFUS = 1 gpm = 0,063 L/s

Tabela A.4- Análise da relação entre Fixture units e o cálculo dos caudais

FU	Q_{IPC} (gpm)	Q_{IPC} (L/s)	$Q_{a PT}$ (L/s)	$Q_{c PT}$ Mínimo (L/s)	$Q_{c PT}$ Médio (L/s)	$Q_{c PT}$ Elevado (L/s)	$Q_{IPC}/Q_{c PT}$ Médio
1	3,00	0,19	0,063	0,12	0,13	0,12	1,43
2	5,00	0,32	0,126	0,18	0,19	0,18	1,67
3	6,50	0,41	0,189	0,22	0,23	0,23	1,76
4	8,00	0,50	0,252	0,25	0,27	0,27	1,87
5	9,40	0,59	0,315	0,28	0,30	0,31	1,96
6	10,70	0,68	0,379	0,31	0,33	0,34	2,03
7	11,80	0,74	0,442	0,34	0,36	0,37	2,07
8	12,80	0,81	0,505	0,36	0,38	0,40	2,10
9	13,70	0,86	0,568	0,38	0,41	0,43	2,11
10	14,60	0,92	0,631	0,40	0,43	0,46	2,13
11	15,40	0,97	0,694	0,42	0,45	0,49	2,14
12	16,00	1,01	0,757	0,44	0,47	0,51	2,13
13	16,50	1,04	0,820	0,46	0,49	0,54	2,11
14	17,00	1,07	0,883	0,48	0,51	0,56	2,09
15	17,50	1,10	0,946	0,50	0,53	0,58	2,08
16	18,00	1,14	1,009	0,51	0,55	0,60	2,07
17	18,40	1,16	1,072	0,53	0,57	0,63	2,05
18	18,80	1,19	1,136	0,54	0,58	0,65	2,03
19	19,20	1,21	1,199	0,56	0,60	0,67	2,02
20	19,60	1,24	1,262	0,57	0,62	0,69	2,01
25	21,50	1,36	1,577	0,64	0,69	0,78	1,96
30	23,30	1,47	1,893	0,71	0,76	0,87	1,94
35	24,90	1,57	2,208	0,76	0,82	0,95	1,91
40	26,30	1,66	2,523	0,82	0,88	1,03	1,89
45	27,70	1,75	2,839	0,87	0,93	1,10	1,87
50	29,10	1,84	3,154	0,92	0,99	1,17	1,86
60	32,00	2,02	3,785	1,00	1,07	1,27	1,89
70	35,00	2,21	4,416	1,08	1,16	1,40	1,90
80	38,00	2,40	5,047	1,16	1,25	1,51	1,93
90	41,00	2,59	5,678	1,24	1,33	1,62	1,95
100	43,50	2,74	6,308	1,31	1,40	1,72	1,96
120	48,00	3,03	7,570	1,44	1,55	1,92	1,96
140	52,50	3,31	8,832	1,56	1,68	2,10	1,97
160	57,00	3,60	10,093	1,67	1,81	2,27	1,99
180	61,00	3,85	11,355	1,78	1,92	2,43	2,00
200	65,00	4,10	12,617	1,88	2,04	2,58	2,01
225	70,00	4,42	14,194	2,01	2,17	2,77	2,04
250	75,00	4,73	15,771	2,12	2,29	2,95	2,06
275	80,00	5,05	17,348	2,23	2,41	3,12	2,09
300	85,00	5,36	18,925	2,33	2,53	3,28	2,12
400	105,00	6,62	25,233	2,56	2,89	3,78	2,30
500	124,00	7,82	31,542	3,03	3,42	4,50	2,29
750	170,00	10,73	47,313	4,12	4,64	6,16	2,31
1000	208,00	13,12	63,083	5,12	5,76	7,70	2,28
1250	239,00	15,08	78,854	6,06	6,82	9,15	2,21
1500	269,00	16,97	94,625	6,96	7,83	10,54	2,17
1750	297,00	18,74	110,396	7,82	8,79	11,88	2,13
2000	325,00	20,50	126,167	8,65	9,72	13,17	2,11
2500	380,00	23,97	157,708	10,24	11,51	15,66	2,08
3000	433,00	27,32	189,250	11,75	13,21	18,03	2,07
4000	525,00	33,12	252,333	14,60	16,41	22,54	2,02
5000	593,00	37,41	315,417	17,29	19,42	26,79	1,93

$\bar{Q} \approx 2$

Tabela A.5- Pré-dimensionamento obtido pelo modelo com a configuração *Fixture units*

Pré-Dimensionamento										
Material	Section	Fixture units	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	DN	D int (mm)	L (m)	f	JL (m.c.a)	1.2 JL (m.c.a)
Aço Galvanizado	1	2,3805	0,4	1	20 mm	22	0,07	0,0416	0,0059	0,0071
Aço Galvanizado	1	2,3805	0,4	1	20 mm	22	2,12	0,0416	0,1866	0,2239
Aço Galvanizado	3	4,761	0,6	1	25 mm	27	0,22	0,0384	0,0149	0,0178
Aço Galvanizado	3	4,761	0,6	1	25 mm	27	0,14	0,0384	0,0095	0,0114
Aço Galvanizado	3	4,761	0,6	1	25 mm	27	0,38	0,0384	0,0262	0,0314
Aço Galvanizado	3	4,761	0,6	1	25 mm	27	2,25	0,0384	0,1542	0,1850
Aço Galvanizado	3	4,761	0,6	1	25 mm	27	2,98	0,0384	0,2041	0,2450
Aço Galvanizado	3	4,761	0,6	1	25 mm	27	1,85	0,0384	0,1269	0,1522
Aço Galvanizado	5	53,1645	1,9	0,9	50 mm	53	1,15	0,0315	0,0254	0,0305
Aço Galvanizado	5	53,1645	1,9	0,9	50 mm	53	0,78	0,0315	0,0172	0,0207
Aço Galvanizado	6	2,3805	0,4	1	20 mm	22	4,05	0,0416	0,3569	0,4282
Aço Galvanizado	6	2,3805	0,4	1	20 mm	22	0,02	0,0416	0,0019	0,0022
Aço Galvanizado	6	2,3805	0,4	1	20 mm	22	0,01	0,0416	0,0007	0,0008
Aço Galvanizado	6	2,3805	0,4	1	20 mm	22	2,16	0,0416	0,1906	0,2287
Aço Galvanizado	8	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	0,16	0,0454	0,0388	0,0466
Aço Galvanizado	8	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	2,12	0,0454	0,5083	0,6100
Aço Galvanizado	8	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	0,19	0,0454	0,0463	0,0556
Aço Galvanizado	10	6,74475	0,7	0,7	32 mm	36	1,11	0,0359	0,0288	0,0346
Aço Galvanizado	10	6,74475	0,7	0,7	32 mm	36	1,63	0,0359	0,0422	0,0506
Aço Galvanizado	10	6,74475	0,7	0,7	32 mm	36	0,31	0,0359	0,0081	0,0097
Aço Galvanizado	10	6,74475	0,7	0,7	32 mm	36	0,61	0,0359	0,0159	0,0191
Aço Galvanizado	11	8,33175	0,8	0,8	32 mm	36	2,49	0,0356	0,0828	0,0993
Aço Galvanizado	11	8,33175	0,8	0,8	32 mm	36	1,62	0,0356	0,0539	0,0647
Aço Galvanizado	13	24,20175	1,3	1	40 mm	42	0,48	0,0335	0,0183	0,0220
Aço Galvanizado	13	24,20175	1,3	1	40 mm	42	0,25	0,0335	0,0095	0,0114
Aço Galvanizado	13	24,20175	1,3	1	40 mm	42	0,02	0,0335	0,0007	0,0009
Aço Galvanizado	13	24,20175	1,3	1	40 mm	42	0,62	0,0335	0,0238	0,0286
Aço Galvanizado	13	24,20175	1,3	1	40 mm	42	2,22	0,0335	0,0852	0,1022
Aço Galvanizado	13	24,20175	1,3	1	40 mm	42	3,46	0,0335	0,1328	0,1593
Aço Galvanizado	13	24,20175	1,3	1	40 mm	42	2,74	0,0335	0,1050	0,1259
Aço Galvanizado	13	24,20175	1,3	1	40 mm	42	0,63	0,0335	0,0242	0,0291
Aço Galvanizado	13	24,20175	1,3	1	40 mm	42	2,91	0,0335	0,1114	0,1337
Aço Galvanizado	15	48,4035	1,8	0,8	50 mm	53	0,57	0,0316	0,0116	0,0139
Aço Galvanizado	16	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	0,2	0,0454	0,0477	0,0572
Aço Galvanizado	16	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	2,12	0,0454	0,5083	0,6100
Aço Galvanizado	18	5,15775	0,6	0,6	32 mm	36	1,42	0,0365	0,0261	0,0313
Aço Galvanizado	18	5,15775	0,6	0,6	32 mm	36	1,51	0,0365	0,0276	0,0331
Aço Galvanizado	19	1,19025	0,2	1	15 mm	16	0,18	0,0459	0,0279	0,0335
Aço Galvanizado	19	1,19025	0,2	1	15 mm	16	2,12	0,0459	0,3381	0,4058
Aço Galvanizado	19	1,19025	0,2	1	15 mm	16	0,32	0,0459	0,0504	0,0605

Aço Galvanizado	21	3,57075	0,5	0,8	25 mm	27	0,59	0,0390	0,0268	0,0321
Aço Galvanizado	23	2,3805	0,4	1	20 mm	22	1,36	0,0416	0,1196	0,1436
Aço Galvanizado	23	2,3805	0,4	1	20 mm	22	0,13	0,0416	0,0115	0,0138
Aço Galvanizado	23	2,3805	0,4	1	20 mm	22	0,16	0,0416	0,0142	0,0170
Aço Galvanizado	23	2,3805	0,4	1	20 mm	22	2,16	0,0416	0,1906	0,2287
Aço Galvanizado	23	2,3805	0,4	1	20 mm	22	0,17	0,0416	0,0149	0,0179
Aço Galvanizado	25	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	1,35	0,0463	0,1702	0,2042
Aço Galvanizado	25	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,72	0,0463	0,0917	0,1100
Aço Galvanizado	25	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,07	0,0463	0,0086	0,0103
Aço Galvanizado	25	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,17	0,0463	0,2748	0,3298
Aço Galvanizado	27	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	4,31	0,0425	0,2180	0,2616
Aço Galvanizado	29	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,02	0,0463	0,0019	0,0023
Aço Galvanizado	29	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,3	0,0463	0,0383	0,0460
Aço Galvanizado	29	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	1,65	0,0463	0,2090	0,2508
Aço Galvanizado	29	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,33	0,0463	0,0422	0,0506
Aço Galvanizado	29	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,15	0,0463	0,0192	0,0231
Aço Galvanizado	29	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,17	0,0463	0,2748	0,3298
Aço Galvanizado	29	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,3	0,0463	0,0383	0,0460
Aço Galvanizado	29	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,33	0,0463	0,0422	0,0506
Aço Galvanizado	30	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,02	0,0463	0,0030	0,0036
Aço Galvanizado	30	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,12	0,0463	0,2688	0,3225
Aço Galvanizado	32	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	0,6	0,0425	0,0302	0,0362
Aço Galvanizado	32	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	0,36	0,0425	0,0183	0,0220
Aço Galvanizado	32	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	0,04	0,0425	0,0022	0,0026
Aço Galvanizado	34	3,57075	0,5	0,8	25 mm	27	3,48	0,0390	0,1592	0,1910
Aço Galvanizado	34	3,57075	0,5	0,8	25 mm	27	0,36	0,0390	0,0162	0,0195
Aço Galvanizado	35	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	0,55	0,0386	0,0334	0,0400
Aço Galvanizado	35	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	2,47	0,0386	0,1498	0,1798
Aço Galvanizado	37	11,50575	1	1	32 mm	36	0,07	0,0352	0,0031	0,0037
Aço Galvanizado	39	15,87	1,1	0,8	40 mm	42	2,91	0,0339	0,0807	0,0968
Aço Galvanizado	39	15,87	1,1	0,8	40 mm	42	0,02	0,0339	0,0004	0,0005
Aço Galvanizado	40	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,11	0,0463	0,0143	0,0172
Aço Galvanizado	40	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,02	0,0463	0,0030	0,0036
Aço Galvanizado	40	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,17	0,0463	0,2748	0,3298
Aço Galvanizado	40	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,52	0,0463	0,0661	0,0793
Aço Galvanizado	42	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	0,12	0,0450	0,0418	0,0502
Aço Galvanizado	42	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	2,12	0,0450	0,7157	0,8588
Aço Galvanizado	44	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,08	0,0463	0,0100	0,0120
Aço Galvanizado	44	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,12	0,0463	0,2683	0,3220
Aço Galvanizado	46	7,1415	0,8	1,3	25 mm	27	0,08	0,0378	0,0094	0,0113
Aço Galvanizado	46	7,1415	0,8	1,3	25 mm	27	1,47	0,0378	0,1714	0,2057
Aço Galvanizado	46	7,1415	0,8	1,3	25 mm	27	0,49	0,0378	0,0567	0,0681
Aço Galvanizado	46	7,1415	0,8	1,3	25 mm	27	0,2	0,0378	0,0238	0,0286
Aço Galvanizado	48	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,96	0,0463	0,1215	0,1458
Aço Galvanizado	48	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	1,34	0,0463	0,1693	0,2031

Aço Galvanizado	48	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,22	0,0463	0,0281	0,0337
Aço Galvanizado	48	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,17	0,0463	0,2748	0,3298
Aço Galvanizado	50	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	0,12	0,0425	0,0059	0,0071
Aço Galvanizado	50	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	2,02	0,0425	0,1023	0,1228
Aço Galvanizado	52	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	0,5	0,0386	0,0304	0,0364
Aço Galvanizado	52	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	0,37	0,0386	0,0223	0,0267
Aço Galvanizado	52	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	2	0,0386	0,1211	0,1453
Aço Galvanizado	54	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	2,34	0,0450	0,7904	0,9485
Aço Galvanizado	54	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	0,09	0,0450	0,0306	0,0367
Aço Galvanizado	54	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	2,17	0,0450	0,7329	0,8795
Aço Galvanizado	56	2,77725	0,4	0,7	25 mm	27	0,33	0,0395	0,0107	0,0129
Aço Galvanizado	57	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,11	0,0463	0,0141	0,0170
Aço Galvanizado	57	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,12	0,0463	0,2688	0,3225
Aço Galvanizado	57	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,1	0,0463	0,0128	0,0154
Aço Galvanizado	59	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,09	0,0463	0,0115	0,0137
Aço Galvanizado	59	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,12	0,0463	0,2683	0,3220
Aço Galvanizado	61	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	0,15	0,0454	0,0369	0,0442
Aço Galvanizado	61	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	2,12	0,0454	0,5083	0,6100
Aço Galvanizado	61	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	0,1	0,0454	0,0250	0,0300
Aço Galvanizado	63	6,74475	0,7	0,7	32 mm	36	1,17	0,0359	0,0304	0,0365
Aço Galvanizado	63	6,74475	0,7	0,7	32 mm	36	1,66	0,0359	0,0430	0,0516
Aço Galvanizado	63	6,74475	0,7	0,7	32 mm	36	0,31	0,0359	0,0081	0,0097
Aço Galvanizado	64	6,74475	0,7	0,5	40 mm	42	0,5	0,0352	0,0059	0,0071
Aço Galvanizado	65	8,33175	0,8	0,6	40 mm	42	2,66	0,0348	0,0404	0,0484
Aço Galvanizado	65	8,33175	0,8	0,6	40 mm	42	1,66	0,0348	0,0252	0,0302
Aço Galvanizado	68	24,20175	1,3	1	40 mm	42	0,2	0,0335	0,0078	0,0094
Aço Galvanizado	68	24,20175	1,3	1	40 mm	42	0,1	0,0335	0,0039	0,0046
Aço Galvanizado	68	24,20175	1,3	1	40 mm	42	0,44	0,0335	0,0169	0,0203
Aço Galvanizado	68	24,20175	1,3	1	40 mm	42	2,22	0,0335	0,0852	0,1022
Aço Galvanizado	68	24,20175	1,3	1	40 mm	42	2,96	0,0335	0,1136	0,1363
Aço Galvanizado	68	24,20175	1,3	1	40 mm	42	2,64	0,0335	0,1013	0,1216
Aço Galvanizado	68	24,20175	1,3	1	40 mm	42	0,56	0,0335	0,0215	0,0258
Aço Galvanizado	68	24,20175	1,3	1	40 mm	42	8,88	0,0335	0,3405	0,4086
Aço Galvanizado	70	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	0,18	0,0454	0,0437	0,0524
Aço Galvanizado	70	1,587	0,3	1,3	15 mm	16	2,12	0,0454	0,5083	0,6100
Aço Galvanizado	72	5,15775	0,6	0,6	32 mm	36	1,41	0,0365	0,0258	0,0309
Aço Galvanizado	72	5,15775	0,6	0,6	32 mm	36	1,49	0,0365	0,0272	0,0327
Aço Galvanizado	73	1,19025	0,2	1	15 mm	16	0,16	0,0459	0,0263	0,0315
Aço Galvanizado	73	1,19025	0,2	1	15 mm	16	2,12	0,0459	0,3381	0,4058
Aço Galvanizado	73	1,19025	0,2	1	15 mm	16	0,19	0,0459	0,0303	0,0364
Aço Galvanizado	75	3,57075	0,5	0,8	25 mm	27	0,59	0,0390	0,0268	0,0321
Aço Galvanizado	77	2,3805	0,4	1	20 mm	22	1,36	0,0416	0,1196	0,1436
Aço Galvanizado	77	2,3805	0,4	1	20 mm	22	0,19	0,0416	0,0170	0,0204
Aço Galvanizado	77	2,3805	0,4	1	20 mm	22	2,16	0,0416	0,1906	0,2287
Aço Galvanizado	77	2,3805	0,4	1	20 mm	22	0,25	0,0416	0,0219	0,0263

Aço Galvanizado	79	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	1,57	0,0463	0,1986	0,2383
Aço Galvanizado	79	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,74	0,0463	0,0941	0,1129
Aço Galvanizado	79	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,18	0,0463	0,0222	0,0266
Aço Galvanizado	79	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,17	0,0463	0,2748	0,3298
Aço Galvanizado	81	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	4,2	0,0425	0,2124	0,2549
Aço Galvanizado	83	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,02	0,0463	0,0024	0,0029
Aço Galvanizado	83	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,24	0,0463	0,0307	0,0369
Aço Galvanizado	83	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	1,57	0,0463	0,1989	0,2387
Aço Galvanizado	83	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,26	0,0463	0,0335	0,0402
Aço Galvanizado	83	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,06	0,0463	0,0072	0,0086
Aço Galvanizado	83	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,17	0,0463	0,2748	0,3298
Aço Galvanizado	83	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,24	0,0463	0,0307	0,0369
Aço Galvanizado	83	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,4	0,0463	0,0505	0,0606
Aço Galvanizado	84	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,03	0,0463	0,0039	0,0046
Aço Galvanizado	84	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,12	0,0463	0,2688	0,3225
Aço Galvanizado	86	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	0,59	0,0425	0,0299	0,0359
Aço Galvanizado	86	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	0,31	0,0425	0,0158	0,0189
Aço Galvanizado	86	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	0,05	0,0425	0,0024	0,0029
Aço Galvanizado	88	3,57075	0,5	0,8	25 mm	27	3,44	0,0390	0,1572	0,1886
Aço Galvanizado	88	3,57075	0,5	0,8	25 mm	27	0,37	0,0390	0,0168	0,0201
Aço Galvanizado	89	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	0,63	0,0386	0,0380	0,0456
Aço Galvanizado	89	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	2,48	0,0386	0,1501	0,1801
Aço Galvanizado	91	11,50575	1	1	32 mm	36	0,25	0,0352	0,0116	0,0139
Aço Galvanizado	93	15,87	1,1	0,8	40 mm	42	2,86	0,0339	0,0795	0,0954
Aço Galvanizado	95	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,22	0,0463	0,0276	0,0332
Aço Galvanizado	95	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,03	0,0463	0,0039	0,0046
Aço Galvanizado	95	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,17	0,0463	0,2748	0,3298
Aço Galvanizado	95	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,42	0,0463	0,0528	0,0633
Aço Galvanizado	97	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	0,08	0,0450	0,0272	0,0326
Aço Galvanizado	97	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	2,12	0,0450	0,7157	0,8588
Aço Galvanizado	99	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,09	0,0463	0,0115	0,0138
Aço Galvanizado	99	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,12	0,0463	0,2683	0,3220
Aço Galvanizado	101	7,1415	0,8	1,3	25 mm	27	0,5	0,0378	0,0581	0,0697
Aço Galvanizado	101	7,1415	0,8	1,3	25 mm	27	0,27	0,0378	0,0317	0,0380
Aço Galvanizado	101	7,1415	0,8	1,3	25 mm	27	1,47	0,0378	0,1714	0,2057
Aço Galvanizado	101	7,1415	0,8	1,3	25 mm	27	0,18	0,0378	0,0215	0,0257
Aço Galvanizado	103	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,88	0,0463	0,1114	0,1337
Aço Galvanizado	103	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	1,33	0,0463	0,1683	0,2020
Aço Galvanizado	103	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,14	0,0463	0,0179	0,0215
Aço Galvanizado	103	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,17	0,0463	0,2748	0,3298
Aço Galvanizado	105	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	0,15	0,0425	0,0077	0,0093
Aço Galvanizado	105	1,587	0,3	0,7	20 mm	22	1,98	0,0425	0,1003	0,1203
Aço Galvanizado	107	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	0,35	0,0386	0,0212	0,0255
Aço Galvanizado	107	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	0,68	0,0386	0,0412	0,0494
Aço Galvanizado	107	4,36425	0,5	0,9	25 mm	27	1,65	0,0386	0,0998	0,1197

Aço Galvanizado	109	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	2,43	0,0450	0,8208	0,9849
Aço Galvanizado	109	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	0,05	0,0450	0,0171	0,0205
Aço Galvanizado	109	1,98375	0,3	1,5	15 mm	16	2,17	0,0450	0,7329	0,8795
Aço Galvanizado	111	2,77725	0,4	0,7	25 mm	27	0,3	0,0395	0,0097	0,0116
Aço Galvanizado	112	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,1	0,0463	0,0129	0,0155
Aço Galvanizado	112	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,12	0,0463	0,2688	0,3225
Aço Galvanizado	112	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,11	0,0463	0,0138	0,0165
Aço Galvanizado	114	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	0,05	0,0463	0,0064	0,0077
Aço Galvanizado	114	0,7935	0,2	0,9	15 mm	16	2,12	0,0463	0,2683	0,3220

Tabela A.6- Pipe Pressure Loss Report

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Fixture units	Flow	Size	Velocity	Length	K Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
1	Pipe	2.3805	0.4 L/s	20 mmø	1.0 m/s	2.18	-	864.53 Pa/m	1.9 kPa	2.3 kPa
	Fittings	-	0.4 L/s	-	1.0 m/s	-	0.941024	-	0.4 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.4 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
2	Fittings	-	0.4 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.2 kPa	0.2 kPa
3	Pipe	4.761	0.6 L/s	25 mmø	1.0 m/s	7.83	-	671.30 Pa/m	5.3 kPa	6.8 kPa
	Fittings	-	0.6 L/s	-	1.0 m/s	-	3.145118	-	1.5 kPa	
4	Fittings	-	0.6 L/s	-	0.0 m/s	-	1.147559	-	0.0 kPa	0.0 kPa
5	Pipe	53.1645	1.9 L/s	50 mmø	0.9 m/s	1.93	-	216.55 Pa/m	0.4 kPa	0.6 kPa
	Fittings	-	1.9 L/s	-	0.9 m/s	-	0.57378	-	0.2 kPa	
6	Pipe	2.3805	0.4 L/s	20 mmø	1.0 m/s	6.24	-	864.53 Pa/m	5.4 kPa	6.5 kPa
	Fittings	-	0.4 L/s	-	1.0 m/s	-	2.423071	-	1.1 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.4 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
7	Fittings	-	0.4 L/s	-	0.0 m/s	-	0.46252	-	0.1 kPa	0.1 kPa
8	Pipe	1.587	0.3 L/s	15 mmø	1.3 m/s	2.47	-	2355.40 Pa/m	5.8 kPa	6.8 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	1.3 m/s	-	1.168934	-	1.0 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.3 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
9	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.317638	-	0.0 kPa	0.0 kPa
10	Pipe	6.74475	0.7 L/s	32 mmø	0.7 m/s	3.66	-	254.20 Pa/m	0.9 kPa	1.4 kPa
	Fittings	-	0.7 L/s	-	0.7 m/s	-	1.75685	-	0.4 kPa	
11	Pipe	8.33175	0.8 L/s	32 mmø	0.8 m/s	4.12	-	325.50 Pa/m	1.3 kPa	1.6 kPa
	Fittings	-	0.8 L/s	-	0.8 m/s	-	0.858819	-	0.3 kPa	
12	Fittings	-	0.8 L/s	-	0.0 m/s	-	1.242047	-	0.2 kPa	0.2 kPa
13	Pipe	24.20175	1.3 L/s	40 mmø	1.0 m/s	13.32	-	376.11 Pa/m	5.0 kPa	7.1 kPa
	Fittings	-	1.3 L/s	-	1.0 m/s	-	4.547165	-	2.1 kPa	
14	Fittings	-	1.3 L/s	-	0.0 m/s	-	0.38252	-	0.1 kPa	0.1 kPa
15	Pipe	48.4035	1.8 L/s	50 mmø	0.8 m/s	0.57	-	197.95 Pa/m	0.1 kPa	0.2 kPa
	Fittings	-	1.8 L/s	-	0.8 m/s	-	0.38252	-	0.1 kPa	
16	Pipe	1.587	0.3 L/s	15 mmø	1.3 m/s	2.31	-	2355.40 Pa/m	5.5 kPa	6.4 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	1.3 m/s	-	1.168934	-	1.0 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.3 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
17	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.317638	-	0.0 kPa	0.0 kPa

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Fixture units	Flow	Size	Velocity	Length	K Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
18	Pipe	5.15775	0.6 L/s	32 mmø	0.6 m/s	2.93	-	179.48 Pa/m	0.5 kPa	0.7 kPa
	Fittings	-	0.6 L/s	-	0.6 m/s	-	1.098031	-	0.2 kPa	
19	Pipe	1.19025	0.2 L/s	15 mmø	1.0 m/s	2.61	-	1563.22 Pa/m	4.1 kPa	4.7 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	1.0 m/s	-	1.101601	-	0.6 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
20	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.1 kPa	0.1 kPa
21	Pipe	3.57075	0.5 L/s	25 mmø	0.8 m/s	0.59	-	448.39 Pa/m	0.3 kPa	0.3 kPa
	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.8 m/s	-	0.2096	-	0.1 kPa	
22	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.0 m/s	-	0.439213	-	0.0 kPa	0.0 kPa
23	Pipe	2.3805	0.4 L/s	20 mmø	1.0 m/s	3.98	-	864.53 Pa/m	3.4 kPa	4.5 kPa
	Fittings	-	0.4 L/s	-	1.0 m/s	-	2.423071	-	1.1 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.4 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
24	Fittings	-	0.4 L/s	-	0.0 m/s	-	0.46252	-	0.1 kPa	0.1 kPa
25	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	4.31	-	1240.51 Pa/m	5.3 kPa	6.6 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	2.890315	-	1.2 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
26	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	0.226667	-	0.2 kPa	0.2 kPa
27	Pipe	1.587	0.3 L/s	20 mmø	0.7 m/s	4.31	-	495.66 Pa/m	2.1 kPa	2.2 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.7 m/s	-	0.3	-	0.1 kPa	
28	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.317638	-	0.0 kPa	0.0 kPa
29	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	5.26	-	1240.51 Pa/m	6.5 kPa	8.9 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	5.517874	-	2.4 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
30	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.15	-	1240.51 Pa/m	2.7 kPa	3.1 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.014934	-	0.4 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
31	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.482047	-	0.2 kPa	0.2 kPa
32	Pipe	1.587	0.3 L/s	20 mmø	0.7 m/s	1.00	-	495.66 Pa/m	0.5 kPa	0.9 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.7 m/s	-	1.682047	-	0.4 kPa	
33	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	0.46252	-	0.0 kPa	0.0 kPa
34	Pipe	3.57075	0.5 L/s	25 mmø	0.8 m/s	3.84	-	448.39 Pa/m	1.7 kPa	2.1 kPa

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Fixture units	Flow	Size	Velocity	Length	K Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.8 m/s	-	1.156299	-	0.4 kPa	
35	Pipe	4.36425	0.5 L/s	25 mmø	0.9 m/s	3.02	-	593.99 Pa/m	1.8 kPa	1.9 kPa
	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.9 m/s	-	0.2096	-	0.1 kPa	
36	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.0 m/s	-	1.317638	-	0.2 kPa	0.2 kPa
37	Pipe	11.50575	1.0 L/s	32 mmø	1.0 m/s	0.07	-	462.16 Pa/m	0.0 kPa	0.1 kPa
	Fittings	-	1.0 L/s	-	1.0 m/s	-	0.2	-	0.1 kPa	
38	Fittings	-	1.0 L/s	-	0.0 m/s	-	1.242047	-	0.3 kPa	0.3 kPa
39	Pipe	15.87	1.1 L/s	40 mmø	0.8 m/s	2.92	-	272.29 Pa/m	0.8 kPa	1.1 kPa
	Fittings	-	1.1 L/s	-	0.8 m/s	-	1.035039	-	0.3 kPa	
40	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.83	-	1240.51 Pa/m	3.5 kPa	4.3 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.803202	-	0.8 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
41	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	0.494016	-	0.1 kPa	0.1 kPa
42	Pipe	1.98375	0.3 L/s	15 mmø	1.5 m/s	2.25	-	3308.70 Pa/m	7.4 kPa	8.7 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	1.5 m/s	-	1.101601	-	1.3 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.3 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
43	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.2 kPa	0.2 kPa
44	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.20	-	1240.51 Pa/m	2.7 kPa	3.2 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.101601	-	0.5 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
45	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.1 kPa	0.1 kPa
46	Pipe	7.1415	0.8 L/s	25 mmø	1.3 m/s	2.24	-	1146.80 Pa/m	2.6 kPa	3.9 kPa
	Fittings	-	0.8 L/s	-	1.3 m/s	-	1.597159	-	1.3 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.8 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
47	Fittings	-	0.8 L/s	-	0.0 m/s	-	0.439213	-	0.1 kPa	0.1 kPa
48	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	4.69	-	1240.51 Pa/m	5.8 kPa	6.9 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	2.59147	-	1.1 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
49	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	0.494016	-	0.1 kPa	0.1 kPa
50	Pipe	1.587	0.3 L/s	20 mmø	0.7 m/s	2.14	-	495.66 Pa/m	1.1 kPa	1.3 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.7 m/s	-	0.941024	-	0.2 kPa	
51	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.1 kPa	0.1 kPa

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Fixture units	Flow	Size	Velocity	Length	K Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
52	Pipe	4.36425	0.5 L/s	25 mmø	0.9 m/s	2.87	-	593.99 Pa/m	1.7 kPa	2.1 kPa
	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.9 m/s	-	0.99378	-	0.4 kPa	
53	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.0 m/s	-	1.242047	-	0.1 kPa	0.1 kPa
54	Pipe	1.98375	0.3 L/s	15 mmø	1.5 m/s	4.61	-	3308.70 Pa/m	15.2 kPa	17.5 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	1.5 m/s	-	1.889869	-	2.2 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.3 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
55	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	0.46252	-	0.1 kPa	0.1 kPa
56	Pipe	2.77725	0.4 L/s	25 mmø	0.7 m/s	0.33	-	319.47 Pa/m	0.1 kPa	0.4 kPa
	Fittings	-	0.4 L/s	-	0.7 m/s	-	1.387559	-	0.3 kPa	
57	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.34	-	1240.51 Pa/m	2.9 kPa	3.3 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.014934	-	0.4 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
58	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.482047	-	0.2 kPa	0.2 kPa
59	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.21	-	1240.51 Pa/m	2.7 kPa	3.2 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.101601	-	0.5 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
60	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.1 kPa	0.1 kPa
61	Pipe	1.587	0.3 L/s	15 mmø	1.3 m/s	2.37	-	2355.40 Pa/m	5.6 kPa	6.6 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	1.3 m/s	-	1.168934	-	1.0 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.3 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
62	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.317638	-	0.0 kPa	0.0 kPa
63	Pipe	6.74475	0.7 L/s	32 mmø	0.7 m/s	3.14	-	254.20 Pa/m	0.8 kPa	1.2 kPa
	Fittings	-	0.7 L/s	-	0.7 m/s	-	1.442047	-	0.4 kPa	
64	Pipe	6.74475	0.7 L/s	40 mmø	0.5 m/s	0.50	-	116.58 Pa/m	0.1 kPa	0.1 kPa
	Fittings	-	0.7 L/s	-	0.5 m/s	-	0.414016	-	0.1 kPa	
65	Pipe	8.33175	0.8 L/s	40 mmø	0.6 m/s	4.32	-	148.94 Pa/m	0.6 kPa	0.8 kPa
	Fittings	-	0.8 L/s	-	0.6 m/s	-	0.821024	-	0.1 kPa	
66	Fittings	-	0.8 L/s	-	0.0 m/s	-	1.147559	-	0.1 kPa	0.1 kPa
67	Fittings	-	1.3 L/s	-	0.0 m/s	-	0.621993	-	0.1 kPa	0.1 kPa
68	Pipe	24.20175	1.3 L/s	40 mmø	1.0 m/s	18.01	-	376.11 Pa/m	6.8 kPa	8.6 kPa
	Fittings	-	1.3 L/s	-	1.0 m/s	-	3.926142	-	1.8 kPa	
69	Fittings	-	1.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.147559	-	0.2 kPa	0.2 kPa

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Fixture units	Flow	Size	Velocity	Length	K Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
70	Pipe	1.587	0.3 L/s	15 mmø	1.3 m/s	2.30	-	2355.40 Pa/m	5.4 kPa	6.4 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	1.3 m/s	-	1.168934	-	1.0 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.3 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
71	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.317638	-	0.0 kPa	0.0 kPa
72	Pipe	5.15775	0.6 L/s	32 mmø	0.6 m/s	2.90	-	179.48 Pa/m	0.5 kPa	0.7 kPa
	Fittings	-	0.6 L/s	-	0.6 m/s	-	1.098031	-	0.2 kPa	
73	Pipe	1.19025	0.2 L/s	15 mmø	1.0 m/s	2.48	-	1563.22 Pa/m	3.9 kPa	4.5 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	1.0 m/s	-	1.101601	-	0.6 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
74	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.1 kPa	0.1 kPa
75	Pipe	3.57075	0.5 L/s	25 mmø	0.8 m/s	0.59	-	448.39 Pa/m	0.3 kPa	0.3 kPa
	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.8 m/s	-	0.2096	-	0.1 kPa	
76	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.0 m/s	-	0.439213	-	0.0 kPa	0.0 kPa
77	Pipe	2.3805	0.4 L/s	20 mmø	1.0 m/s	3.96	-	864.53 Pa/m	3.4 kPa	4.2 kPa
	Fittings	-	0.4 L/s	-	1.0 m/s	-	1.682047	-	0.8 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.4 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
78	Fittings	-	0.4 L/s	-	0.0 m/s	-	0.46252	-	0.1 kPa	0.1 kPa
79	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	4.66	-	1240.51 Pa/m	5.8 kPa	7.0 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	2.890315	-	1.2 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
80	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	0.226667	-	0.2 kPa	0.2 kPa
81	Pipe	1.587	0.3 L/s	20 mmø	0.7 m/s	4.20	-	495.66 Pa/m	2.1 kPa	2.2 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.7 m/s	-	0.37	-	0.1 kPa	
82	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.242047	-	0.0 kPa	0.0 kPa
83	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	4.97	-	1240.51 Pa/m	6.2 kPa	8.5 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	5.517874	-	2.4 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
84	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.16	-	1240.51 Pa/m	2.7 kPa	3.1 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.014934	-	0.4 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
85	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.482047	-	0.2 kPa	0.2 kPa

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Fixture units	Flow	Size	Velocity	Length	K Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
86	Pipe	1.587	0.3 L/s	20 mmø	0.7 m/s	0.95	-	495.66 Pa/m	0.5 kPa	0.9 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.7 m/s	-	1.682047	-	0.4 kPa	
87	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	0.46252	-	0.0 kPa	0.0 kPa
88	Pipe	3.57075	0.5 L/s	25 mmø	0.8 m/s	3.80	-	448.39 Pa/m	1.7 kPa	2.1 kPa
	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.8 m/s	-	1.156299	-	0.4 kPa	
89	Pipe	4.36425	0.5 L/s	25 mmø	0.9 m/s	3.10	-	593.99 Pa/m	1.8 kPa	1.9 kPa
	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.9 m/s	-	0.2096	-	0.1 kPa	
90	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.0 m/s	-	1.317638	-	0.2 kPa	0.2 kPa
91	Pipe	11.50575	1.0 L/s	32 mmø	1.0 m/s	0.25	-	462.16 Pa/m	0.1 kPa	0.2 kPa
	Fittings	-	1.0 L/s	-	1.0 m/s	-	0.2	-	0.1 kPa	
92	Fittings	-	1.0 L/s	-	0.0 m/s	-	1.242047	-	0.3 kPa	0.3 kPa
93	Pipe	15.87	1.1 L/s	40 mmø	0.8 m/s	2.86	-	272.29 Pa/m	0.8 kPa	0.8 kPa
	Fittings	-	1.1 L/s	-	0.8 m/s	-	0.2	-	0.1 kPa	
94	Fittings	-	1.1 L/s	-	0.0 m/s	-	0.38252	-	0.0 kPa	0.0 kPa
95	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.84	-	1240.51 Pa/m	3.5 kPa	4.3 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.803202	-	0.8 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
96	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	0.494016	-	0.1 kPa	0.1 kPa
97	Pipe	1.98375	0.3 L/s	15 mmø	1.5 m/s	2.20	-	3308.70 Pa/m	7.3 kPa	8.6 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	1.5 m/s	-	1.101601	-	1.3 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.3 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
98	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.2 kPa	0.2 kPa
99	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.21	-	1240.51 Pa/m	2.7 kPa	3.2 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.101601	-	0.5 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
100	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.1 kPa	0.1 kPa
101	Pipe	7.1415	0.8 L/s	25 mmø	1.3 m/s	2.42	-	1146.80 Pa/m	2.8 kPa	4.1 kPa
	Fittings	-	0.8 L/s	-	1.3 m/s	-	1.597159	-	1.3 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.8 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
102	Fittings	-	0.8 L/s	-	0.0 m/s	-	0.439213	-	0.1 kPa	0.1 kPa
103	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	4.53	-	1240.51 Pa/m	5.6 kPa	6.7 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	2.59147	-	1.1 kPa	

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Fixture units	Flow	Size	Velocity	Length	K Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
104	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	0.494016	-	0.1 kPa	0.1 kPa
105	Pipe	1.587	0.3 L/s	20 mmø	0.7 m/s	2.14	-	495.66 Pa/m	1.1 kPa	1.3 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.7 m/s	-	0.941024	-	0.2 kPa	
106	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.1 kPa	0.1 kPa
107	Pipe	4.36425	0.5 L/s	25 mmø	0.9 m/s	2.68	-	593.99 Pa/m	1.6 kPa	2.0 kPa
	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.9 m/s	-	0.99378	-	0.4 kPa	
108	Fittings	-	0.5 L/s	-	0.0 m/s	-	1.242047	-	0.1 kPa	0.1 kPa
109	Pipe	1.98375	0.3 L/s	15 mmø	1.5 m/s	4.66	-	3308.70 Pa/m	15.4 kPa	17.6 kPa
	Fittings	-	0.3 L/s	-	1.5 m/s	-	1.889869	-	2.2 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.3 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
110	Fittings	-	0.3 L/s	-	0.0 m/s	-	0.46252	-	0.1 kPa	0.1 kPa
111	Pipe	2.77725	0.4 L/s	25 mmø	0.7 m/s	0.30	-	319.47 Pa/m	0.1 kPa	0.4 kPa
	Fittings	-	0.4 L/s	-	0.7 m/s	-	1.387559	-	0.3 kPa	
112	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.34	-	1240.51 Pa/m	2.9 kPa	3.3 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.014934	-	0.4 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
113	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.482047	-	0.2 kPa	0.2 kPa
114	Pipe	0.7935	0.2 L/s	15 mmø	0.9 m/s	2.17	-	1240.51 Pa/m	2.7 kPa	3.2 kPa
	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.9 m/s	-	1.101601	-	0.5 kPa	
	Plumbing Fixture	-	0.2 L/s	-	-	-	-	-	0.0 kPa	
115	Fittings	-	0.2 L/s	-	0.0 m/s	-	1.387559	-	0.1 kPa	0.1 kPa

Critical Path : 5-15-69-68-67-94-93-108-107-111-110-109 ; Total Pressure Loss : 30.9 kPa

Tabela A.7- Tabela “Dados in” obtida pelo script A.2

Section	FT Quantity	FV Quantity	FT Flow	FV Flow	Length	Critical Path	Revit ID
15	32	0	6,7	0	1,2	1	891286
13	2	0	0,6	0	0,2		891412
15	32	0	6,7	0	0,8	1	891432
11	2	0	0,6	0	0,1		891743
7	2	0	0,6	0	0,4		891756
9	2	0	0,6	0	2,2		891808
5	2	0	0,6	0	3,0		891907
16	1	0	0,3	0	4,1		891919
1	1	0	0,3	0	0,1		892124
1	1	0	0,3	0	2,1		892133
3	2	0	0,6	0	1,8		892136
16	1	0	0,3	0	0,0		892172
16	1	0	0,3	0	0,0		892184
16	1	0	0,3	0	2,2		892185
29	30	0	6,1	0	0,6	1	892362
109	15	0	3,05	0	0,2	1	892368
27	15	0	3,05	0	0,5		893545
27	15	0	3,05	0	0,3		893558
107	15	0	3,05	0	0,1	1	893586
107	15	0	3,05	0	0,5	1	893598
107	15	0	3,05	0	2,2	1	893644
107	15	0	3,05	0	3,0	1	893654
107	15	0	3,05	0	2,7	1	893662
107	15	0	3,05	0	0,6	1	893672
27	15	0	3,05	0	0,0		893754
27	15	0	3,05	0	0,6		893764
27	15	0	3,05	0	2,2		893822
27	15	0	3,05	0	3,5		893832
27	15	0	3,05	0	2,8		893840
27	15	0	3,05	0	0,6		893850
27	15	0	3,05	0	2,9		893938
24	4	0	0,85	0	1,1		894184
24	4	0	0,85	0	1,6		894192
24	4	0	0,85	0	0,3		894205
18	1	0	0,2	0	0,1		894283
22	1	0	0,2	0	2,1		894296
38	3	0	0,65	0	1,4		894322
49	1	0	0,3	0	1,4		894544
49	1	0	0,3	0	0,1		894552
49	1	0	0,3	0	0,2		894564
49	1	0	0,3	0	2,2		894565
31	1	0	0,2	0	0,2		894625
33	1	0	0,2	0	2,1		894634
36	3	0	0,65	0	1,5		894637
40	1	0	0,15	0	0,1		894656
44	1	0	0,15	0	2,1		894665
47	2	0	0,45	0	0,6		894668
25	6	0	1,05	0	2,5		894746
50	1	0	0,1	0	1,3		894817
25	6	0	1,05	0	1,6		894837
50	1	0	0,1	0	0,7		894846
50	1	0	0,1	0	0,1		895070
50	1	0	0,1	0	2,2		895081
53	1	0	0,1	0	0,0		895096
51	2	0	0,2	0	4,3		895103
53	1	0	0,1	0	0,3		895108
53	1	0	0,1	0	1,7		895118
53	1	0	0,1	0	0,3		895126
53	1	0	0,1	0	0,2		895173
53	1	0	0,1	0	2,2		895182
63	9	0	2	0	2,9		895558
63	9	0	2	0	0,0		895571
84	4	0	0,55	0	0,5		895706
84	4	0	0,55	0	0,4		896769

Section	FT Quantity	FV Quantity	FT Flow	FV Flow	Length	Critical Path	Revit ID
93	2	0	0,35	0	0,3		896777
82	2	0	0,2	0	0,1		896880
81	1	0	0,1	0	1,0		896912
81	1	0	0,1	0	1,3		896922
81	1	0	0,1	0	0,2		896949
81	1	0	0,1	0	2,2		896958
95	1	0	0,1	0	0,1		896969
95	1	0	0,1	0	2,1		896980
82	2	0	0,2	0	2,0		896983
96	1	0	0,1	0	0,1		897063
96	1	0	0,1	0	2,1		897072
90	1	0	0,25	0	2,3		897097
86	1	0	0,25	0	0,1		897148
88	1	0	0,25	0	2,1		897157
77	1	0	0,9	0	0,0		897186
73	1	0	0,9	0	1,4		897196
79	1	0	0,9	0	0,5		897202
57	3	0	0,45	0	3,5		897229
60	5	0	1,45	0	0,1		897242
66	1	0	0,25	0	0,1		897267
68	1	0	0,25	0	2,1		897278
57	3	0	0,45	0	0,3		897281
70	1	0	0,1	0	0,1		897362
70	1	0	0,1	0	2,1		897373
58	4	0	0,55	0	0,6		897376
142	9	0	2	0	2,9	1	897427
151	1	0	0,9	0	0,5		897440
105	6	0	1,05	0	2,7		897480
104	4	0	0,85	0	1,2		897488
104	4	0	0,85	0	1,7		897496
98	1	0	0,2	0	0,1		897560
102	1	0	0,2	0	2,1		897571
104	4	0	0,85	0	0,3		897574
119	3	0	0,65	0	1,4		897612
130	1	0	0,3	0	1,4		897620
130	1	0	0,3	0	0,2		897677
130	1	0	0,3	0	2,2		897686
121	1	0	0,15	0	0,1		897697
125	1	0	0,15	0	2,1		897706
128	2	0	0,45	0	0,6		897709
112	1	0	0,2	0	0,1		897721
114	1	0	0,2	0	2,1		897730
117	3	0	0,65	0	1,5		897733
131	1	0	0,1	0	1,6		897747
105	6	0	1,05	0	1,7		897756
131	1	0	0,1	0	0,7		897765
131	1	0	0,1	0	0,2		897790
131	1	0	0,1	0	2,2		897801
134	1	0	0,1	0	0,0		897822
132	2	0	0,2	0	4,2		897829
134	1	0	0,1	0	0,2		897834
134	1	0	0,1	0	1,6		897844
134	1	0	0,1	0	0,3		897852
134	1	0	0,1	0	0,1		897874
134	1	0	0,1	0	2,2		897883
151	1	0	0,9	0	0,3		900773
151	1	0	0,9	0	1,4		900783
138	3	0	0,45	0	3,4	1	900810
141	5	0	1,45	0	0,3	1	900827
107	15	0	3,05	0	8,9	1	901110
148	1	0	0,1	0	0,1		902204
148	1	0	0,1	0	2,1		902215
139	4	0	0,55	0	0,6	1	902218
145	1	0	0,25	0	0,0		902234
147	1	0	0,25	0	2,1		902243
138	3	0	0,45	0	0,4	1	902246
136	2	0	0,2	0	0,6	1	902303

Section	FT Quantity	FV Quantity	FT Flow	FV Flow	Length	Critical Path	Revit ID
55	2	0	0,2	0	0,6		902404
55	2	0	0,2	0	0,4		902437
64	1	0	0,1	0	0,1		902449
54	1	0	0,1	0	0,0		902468
54	1	0	0,1	0	2,1		902479
55	2	0	0,2	0	0,1		902482
64	1	0	0,1	0	0,0		902492
64	1	0	0,1	0	2,2		902503
136	2	0	0,2	0	0,3	1	902591
143	1	0	0,1	0	0,2	1	902603
135	1	0	0,1	0	0,0		902634
135	1	0	0,1	0	2,1		902645
136	2	0	0,2	0	0,1	1	902648
143	1	0	0,1	0	0,0	1	902658
143	1	0	0,1	0	2,2	1	902669
163	4	0	0,55	0	0,4	0	902732
163	4	0	0,55	0	0,7	0	902745
170	1	0	0,25	0	2,4		902753
166	1	0	0,25	0	0,0		902791
168	1	0	0,25	0	2,1		902800
177	1	0	0,1	0	0,1		902813
177	1	0	0,1	0	2,1		902822
173	2	0	0,35	0	0,3		902825
161	2	0	0,2	0	0,1	0	902855
156	1	0	0,1	0	0,9	0	902865
154	1	0	0,1	0	1,3	0	902873
152	1	0	0,1	0	0,1	1	902896
152	1	0	0,1	0	2,1	0	902905
175	1	0	0,1	0	0,1		902917
175	1	0	0,1	0	2,1		902919
159	2	0	0,2	0	1,9	0	902940
24	4	0	0,85	0	0,6		942117
20	1	0	0,2	0	0,1		942163
53	1	0	0,1	0	0,3		942196
42	1	0	0,15	0	0,3		942244
49	1	0	0,3	0	0,2		942264
53	1	0	0,1	0	0,3		942285
58	4	0	0,55	0	2,5		943271
64	1	0	0,1	0	0,5		943285
75	1	0	0,9	0	0,2		943319
84	4	0	0,55	0	2,0		943343
95	1	0	0,1	0	0,1		943444
134	1	0	0,1	0	0,2		943489
134	1	0	0,1	0	0,4		943511
130	1	0	0,3	0	0,2		943556
123	1	0	0,15	0	0,1		943570
100	1	0	0,2	0	0,1		943624
104	4	0	0,85	0	0,5		943646
151	1	0	0,9	0	0,2		943692
139	4	0	0,55	0	2,5	1	943802
143	1	0	0,1	0	0,4	1	943845
163	4	0	0,55	0	1,7	0	943897
175	1	0	0,1	0	0,1		943934

Tabela A.8- Tabela “Dados out” utilizada pelo script A.3

Revit ID	DN	Revit ID	DN	Revit ID	DN	Revit ID	DN
891286	40	894668	25	897488	25	902503	15
891412	32	894746	25	897496	25	902591	15
891432	40	894817	15	897560	15	902603	15
891743	32	894837	25	897571	15	902634	15
891756	32	894846	15	897574	25	902645	15
891808	32	895070	15	897612	25	902648	15
891907	32	895081	15	897620	20	902658	15
891919	20	895096	15	897677	20	902669	15
892124	20	895103	15	897686	20	902732	20
892133	20	895108	15	897697	15	902745	20
892136	32	895118	15	897706	15	902753	20
892172	20	895126	15	897709	25	902791	20
892184	20	895173	15	897721	15	902800	20
892185	20	895182	15	897730	15	902813	15
892362	40	895558	32	897733	25	902822	15
892368	32	895571	32	897747	15	902825	32
893545	32	895706	20	897756	25	902855	15
893558	32	896769	20	897765	15	902865	15
893586	32	896777	20	897790	15	902873	15
893598	32	896880	15	897801	15	902896	15
893644	32	896912	15	897822	15	902905	15
893654	32	896922	15	897829	15	902917	15
893662	32	896949	15	897834	15	902919	15
893672	32	896958	15	897844	15	902940	15
893754	32	896969	15	897852	15	942117	25
893764	32	896980	15	897874	15	942163	15
893822	32	896983	15	897883	15	942196	15
893832	32	897063	15	900773	32	942244	15
893840	32	897072	15	900783	32	942264	20
893850	32	897097	20	900810	20	942285	15
893938	32	897148	20	900827	32	943271	20
894184	25	897157	20	901110	32	943285	15
894192	25	897186	32	902204	15	943319	32
894205	25	897196	32	902215	15	943343	20
894283	15	897202	32	902218	20	943444	15
894296	15	897229	20	902234	20	943489	15
894322	25	897242	32	902243	20	943511	15
894544	20	897267	20	902246	20	943556	20
894552	20	897278	20	902303	15	943570	15
894564	20	897281	20	902404	15	943624	15
894565	20	897362	15	902437	15	943646	25
894625	15	897373	15	902449	15	943692	32
894634	15	897376	20	902468	15	943802	20
894637	25	897427	32	902479	15	943845	15
894656	15	897440	32	902482	15	943897	20
894665	15	897480	25	902492	15	943934	15