

**A tensão de arrastamento em redes prediais de drenagem
de águas residuais**

Pedro Guilherme Neves Charrua

Dissertação para obtenção do Grau em Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Professor Albano Luís Rebelo da Silva das Neves e Sousa

Júri

Presidente: Professor Nuno Gonçalo Cordeiro Marques de Almeida

Orientador: Professor Albano Luís Rebelo da Silva das Neves e Sousa

Vogal: Professora Maria Cristina de Oliveira Matos Silva

Outubro de 2017

Resumo

Na presente dissertação são recordados alguns conceitos hidráulicos como, por exemplo, os tipos de escoamento hidráulico, e a sua capacidade de transporte, no caso particular das do escoamento de águas residuais, tensão de arrastamento. Além disso, são descritos os tipos de sedimentos presentes nos sistemas prediais de drenagem de águas residuais, as suas características, bem como o modo de transporte destas partículas e a sua sensibilidade a diferentes valores da tensão de arrastamento.

A presente dissertação tem como objetivo principal, reunir e providenciar o máximo de informação possível sobre as exigências de desempenho colocadas em diferentes países relativamente à velocidade mínima de escoamento e a tensão mínima de arrastamento nos sistemas prediais de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais. É feita uma pesquisa bibliográfica de regulamentos e normas, nacionais e internacionais permitindo a comparação dos diversos critérios de autolimpeza e a identificação de possíveis medidas de melhoria nas atuais exigências colocadas em Portugal. Pretende avaliar-se o potencial de melhoria da sustentabilidade ambiental e económica deste tipo de sistemas, através, por exemplo, da poupança do material utilizado e correspondente redução de custos. Estas medidas serão depois aplicadas a dois casos de estudo, de forma a analisar o seu impacto.

Palavras-chave: Instalações prediais; Drenagem de águas domésticas e pluviais; Critérios de autolimpeza; Dimensionamento; Custo.

Abstract

The present dissertation aims to clarify some hydraulic concepts, like, for example, the different types of hydraulic flow, the in what consists the carrying capacity of residual waters, the definition of tractive tension and the, physical and mathematical, source of its formula. It's also explained the different types of sediment present on the buildings sewage system, their characteristics, how it's made their transport and their sensitivity to various tractive tension values.

The present thesis also aims to gather the most information possible, about the performance demands on several countries relatively to the minimum velocity and tractive tension on the buildings drainage, domestic and storm, system. A bibliographic review about, national and international, regulations/standards was made, allowing a comparison between the several self-cleansing criteria's, and possible changes to the national standards, to achieve a more environmental and economic drainage system, with measures like, cutting material usage or costs. These changes will be applied to two case studies, to analyze their impact, and see if they're better financial.

Keywords: Building's services; Domestic and storm drainage systems; Tractive tension; Self-cleansing criteria; Design; Cost.

Simbologia

Símbolo	Grandeza	Unidades
β	Ângulo	Rad.
γ	Peso volúmico	N/m ³
γ_s	Peso volúmico do material sólido	N/m ³
θ	Ângulo	Rad.
ν	Viscosidade cinemática	m ² /s
$\vec{\Pi}$	Vetor força	J
τ	Tensão de arrastamento	Pa
τ_c	Tensão crítica de arrastamento	Pa
a	Constante dependente da região pluviométrica	Adimensional
b	Constante dependente da região pluviométrica	Adimensional
A	Área da secção líquida	m ²
A _c	Área de contribuição	m ²
C	Coefficiente de escoamento	Adimensional
C _s	Coefficiente de simultaneidade	Adimensional
D	Diâmetro da tubagem	m
D ₅₀	Diâmetro médio dos elementos sólidos	mm
D _v	Diâmetro mínimo da coluna de ventilação	m
D _q	Diâmetro do tubo de queda	m
g	Aceleração gravítica	m/s ²
G	Peso do líquido	N
\vec{G}	Vetor do peso do líquido	N
H	Carga total	M
h	Altura da lamina líquida	m
i	Inclinação da tubagem	m/m ou mm/m
I	Intensidade de precipitação	l/min.m ²
J	Perda de carga unitária	m
K	Coefficiente de rugosidade	m ^{1/3} /s
L	Comprimento	m
L _v	Comprimento do tubo de queda	m
P	Perímetro molhado	m
p	Pressão	Pa
Q	Caudal escoado	m ³ /s

Q_a	Caudal acumulado	l/min
Q_c	Caudal de cálculo	l/min
Q_d	Caudal de cálculo pluvial	l/min
R_H	Raio hidráulico	m
R_x	Força de arrastamento	N.m
t	Duração da precipitação	Min.
t_s	Taxa de ocupação	Adimensional
V	Velocidade de escoamento	m/s
V_c^*	Velocidade de atrito	m/s
Y	Distância	m
Z	Cota piezométrica	m

Índices

C	Coletor predial doméstico
D	Tubo de queda doméstico
Ca	Caleira pluvial
T	Tubo de queda pluvial
CP	Coletor predial pluvial
Gr	Grelha pluvial
CLp	Caleira perimetral pluvial
$I.S.$	Instalação sanitária
Ba	Banheira
Bd	Bidé
Lv	Lavatório
MI	Maquina lava-louça
Mr	Máquina lava-roupa
LL	Lava-louça
CR	Caixa de reunião

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Metodologia.....	1
1.4. Estrutura geral.....	2
2. CAPACIDADE DE TRANSPORTE	3
2.1. Noções básicas de hidráulica	3
2.1.1. Tipos de escoamentos	3
2.1.2. Caudal	3
2.1.3. Teorema de Bernoulli	3
2.1.4. Escoamento com superfície livre	4
2.1.5. Tensão de arrastamento	5
2.2. Sedimentos em tubagens de esgoto	8
3. REVISÃO DE LEGISLAÇÃO E NORMAS	15
3.1. Legislação em Portugal.....	15
3.2. Legislação em Espanha.....	16
3.3. Legislação no Reino Unido	16
3.4. Legislação na Alemanha.....	16
3.5. Legislação nos E.U.A.	17
3.6. Legislação no Canadá	18
3.7. Legislação no México.....	18
3.8. Legislação no Brasil	18
3.9. Legislação no Chile.....	19
3.10. Legislação na Austrália	19
3.11. Resumo dos critérios de autolimpeza definidos legalmente nos países analisados... 19	
4. COMPARAÇÃO DAS VELOCIDADES DE ESCOAMENTO E TENSÕES DE ARRASTAMENTO	23
4.1. Coletores de águas residuais domésticas	24
4.2. Ramais de descarga de águas domésticas	25
4.3. Coletores de águas residuais pluviais	26
4.4. Caleiras de águas residuais pluviais.....	28
4.5. Discussão.....	29
5. METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO ADOTADA EM PROJETO DE REDES PREDIAIS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS	31
5.1. Dimensionamento para as águas domésticas	31
5.1.1. Caudais de descarga.....	32
5.1.2. Caudais de cálculo	32
5.1.3. Ramais de descarga individuais e coletivos.....	33
5.1.4. Tubos de Queda.....	34
5.1.5. Coletores Prediais	35

5.1.6. Critérios de autolimpeza nos coletores domésticos	35
5.1.7. Coluna de ventilação secundária	35
5.2. Dimensionamento para as águas pluviais	35
5.2.1. Caudais de cálculo	36
5.2.2. Pendentes e áreas de influência	37
5.2.3. Caleiras de cobertura	37
5.2.4. Critérios de autolimpeza nas caleiras	38
5.2.5. Tubos de queda.....	38
5.2.6. Coletores prediais.....	38
5.2.7. Critérios de autolimpeza nos coletores prediais pluviais	39
6. CASO DE ESTUDO 1	41
6.1. Ramais de descarga individuais e coletivos de águas domésticas	43
6.2. Tubos de queda domésticos	44
6.3. Coletores Prediais de águas domésticas.....	44
6.4. Drenagem de águas pluviais	45
6.5. Caleiras pluviais	46
6.6. Ramais de descarga individuais e coletivos de águas pluviais	46
6.7. Tubos de queda de águas pluviais	47
6.8. Coletores prediais pluviais	47
6.9. Análise orçamental.....	48
7. CASO DE ESTUDO 2	53
7.1. Ramais de descarga individuais e coletivos de águas domésticas	54
7.2. Tubos de queda domésticos	55
7.3. Coletores Prediais de águas domésticas.....	56
7.4. Drenagem de águas pluviais	57
7.5. Caleiras pluviais	57
7.6. Ramais de descarga individuais e coletivos de águas pluviais	58
7.7. Tubos de queda de águas pluviais	58
7.8. Coletores prediais pluviais	58
7.9. Análise orçamental.....	59
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
8.1. Conclusão	63
8.2. Trabalhos futuros	64

Lista de Quadros

Quadro 1 - Tipo e dimensão dos sedimentos presentes nas águas residuais.	9
Quadro 2 - Aplicação do método de Shields aos quatro exemplos	12
Quadro 3 – Critérios regulamentados de autolimpeza [N1]	16
Quadro 4 - Velocidades mínimas e máximas da legislação espanhola [N2]	16
Quadro 5 - Critérios de autolimpeza na legislação do Reino Unido [N3].....	16
Quadro 6 - Critérios de autolimpeza para coletores domésticos e pluviais na Alemanha [8].....	17
Quadro 7 - Critérios de autolimpeza em coletores mistos na legislação alemã [8]	17
Quadro 8 - Velocidade mínima para coletores prediais domésticos na legislação dos E.U.A. [N4].....	17
Quadro 9 - Critérios de autolimpeza na legislação norte-americana [N5].	17
Quadro 10 - Critérios de autolimpeza na legislação do Canadá [N6]	18
Quadro 11 - Critérios de autolimpeza na legislação mexicana [9].....	18
Quadro 12 - Diferentes materiais e correspondentes velocidades máximas [9].....	18
Quadro 13 - Tensão mínima de arrastamento e velocidade máxima da legislação brasileira. [N7].....	19
Quadro 14 - Critérios de autolimpeza na legislação chilena [N10].	19
Quadro 15 - Critérios de autolimpeza na legislação Australiana [N11].	19
Quadro 16 - Critérios de autolimpeza para a drenagem de águas domésticas em diversos países. ..	20
Quadro 17 - Critérios de autolimpeza para a drenagem de águas pluviais em diversos países.....	20
Quadro 18 - Velocidades mínimas e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais domésticas.	23
Quadro 19 - Velocidades máximas e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais domésticas.	23
Quadro 20 - Tensão mínima de arrastamento e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais domésticas.	23
Quadro 21 - Velocidades mínimas e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais pluviais. ...	24
Quadro 22 - Velocidades máximas e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais pluviais. ..	24
Quadro 23 - Tensão mínima de arrastamento e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais pluviais.....	24
Quadro 24 - Velocidade de escoamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a meia secção em tubagem de PVC.	25
Quadro 25 - Tensão de arrastamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a meia secção em tubagem de PVC.	25
Quadro 26 - Velocidade de escoamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a secção cheia para tubagens de PVC.	26
Quadro 27 - Tensão de arrastamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a secção cheia para tubagens de PVC.	26
Quadro 28 - Velocidade de escoamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a secção cheia para tubagens de PVC.	27
Quadro 29 - Tensão de arrastamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a secção cheia para tubagens de PVC.	27
Quadro 30 - Velocidade de escoamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a altura da lâmina líquida de 0,35D em caleiras em PVC.	28
Quadro 31 - Tensão de arrastamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a altura da lâmina líquida de 0,35D em caleiras em PVC.	29
Quadro 32 - Caudais de descarga dos vários aparelhos sanitários	32
Quadro 33 - Diâmetros mínimos dos ramais de descargas individuais [N1].	33
Quadro 34 - Diâmetros dos tubos de queda e respetivas taxas de ocupação.	34
Quadro 35 - Valores dos parâmetros a e b	36
Quadro 36 - Dimensionamento dos ramais de descarga, para diversos critérios de autolimpeza.....	43
Quadro 37 - Dimensionamento dos tubos de queda, com e sem ventilação secundária.....	44
Quadro 38 - Dimensionamento dos coletores domésticos, para diversos critérios de autolimpeza	45
Quadro 39 - Dimensionamento dos coletores domésticos, para diversos critérios de autolimpeza	45
Quadro 40 - Critérios de dimensionamento	46
Quadro 41 - Dimensionamento das caleiras pluviais, para diversos critérios de autolimpeza	46
Quadro 42 - Dimensionamento dos coletores pluviais, para diversos critérios de autolimpeza.....	47

Quadro 43 - Dimensionamento dos coletores pluviais, para diversos critérios de autolimpeza.....	47
Quadro 44 - Custos dos ramais de descarga domésticos.	48
Quadro 45 - Custos dos tubos de queda domésticos.	49
Quadro 46 - Custos dos coletores prediais domésticos.	49
Quadro 47 - Custos das caleiras pluviais.	49
Quadro 48 - Custos dos tubos de queda pluviais.	50
Quadro 49 - Custos dos coletores prediais pluviais.	50
Quadro 50 - Custo total do sistema de drenagem de águas domésticas.	50
Quadro 51 - Custo total do sistema de drenagem de águas pluviais.	50
Quadro 52 - Dimensionamento dos ramais de descarga, para diversos critérios de autolimpeza.....	55
Quadro 53 - Dimensionamento dos tubos de queda, com e sem ventilação secundária.....	56
Quadro 54 - Dimensionamento dos coletores domésticos, para diversos critérios de autolimpeza	56
Quadro 55 -Dimensionamento dos coletores domésticos, para diversos critérios de autolimpeza	57
Quadro 56 - Critérios de dimensionamento	57
Quadro 57 - Dimensionamento das caleiras pluviais, para diversos critérios de autolimpeza	58
Quadro 58 -Dimensionamento dos coletores pluviais, para diversos critérios de autolimpeza.....	58
Quadro 59 - Dimensionamento dos coletores pluviais, para diversos critérios de autolimpeza.....	59
Quadro 60 - Custos dos ramais de descarga domésticos.	59
Quadro 61 - Custos dos tubos de queda domésticos.	60
Quadro 62 - Custos dos coletores prediais domésticos.	60
Quadro 63 - Custo das caleiras pluviais.....	61
Quadro 64 - Custos dos tubos de queda pluviais.	61
Quadro 65 - Custos dos coletores prediais pluviais.	61
Quadro 66 - Custo total do sistema de drenagem de águas domésticas.	62
Quadro 67 - Custo total do sistema de drenagem de águas pluviais.	62

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

A atual regulamentação portuguesa [N1] relativa a redes prediais de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais exige a satisfação das condições de autolimpeza das tubagens, não fornecendo, no entanto, critérios claros de verificação. Entende-se por “autolimpeza” a criação de condições de escoamento suficientes para, em cada momento, evitarem a sedimentação nas paredes da tubagem das partículas sólidas orgânicas e inorgânicas em suspensão no esgoto. Em geral, tal é conseguido através da imposição de velocidades mínimas de escoamento ou de tensões mínimas de arrastamento. Na regulamentação portuguesa são definidas velocidades definidas velocidades mínimas de escoamento para sistemas públicos de drenagem de águas residuais, no entanto, tal não ocorre para os sistemas prediais de drenagem.

A pesquisa de critérios de verificação das condições de autolimpeza na legislação e em documentos técnicos de outros países mostra uma grande variabilidade nos limites de velocidade de escoamento ou da tensão de arrastamento, pelo que se justifica a elaboração de um estudo mais detalhado sobre o fenómeno de autolimpeza em redes prediais de drenagem de esgotos, focando-se nos critérios de satisfação e na sua implementação em projeto e obra, nomeadamente ao nível dos consumos de material (diâmetros de tubagem) decorrentes dos critérios definidos. Caso não exista referência a critérios de autolimpeza prediais, poderão ser utilizados os valores referentes aos sistemas públicos, sendo igualmente válidos.

As alterações climáticas recentes têm conduzido a períodos de seca mais prolongados e a chuvas mais intensas, pelo que, no caso da drenagem de águas residuais pluviais, podem antecipar-se alterações visando o aumento dos caudais de dimensionamento. Tal colocará problemas visto que conduzirá a maiores diâmetros com maior probabilidade de sedimentação de partículas para as chuvas mais correntes. Na presente dissertação, estes efeitos não serão considerados.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivos:

- Avaliar os critérios de autolimpeza aplicáveis, em Portugal, às redes prediais de drenagem de águas residuais, enquadrando-os no panorama internacional.
- Avaliar o grau de conservadorismo nos critérios de verificação das condições de autolimpeza atualmente aplicadas em Portugal e propor alterações aos critérios em vigor.
- Avaliar o potencial de poupança de consumos de material decorrentes do aligeiramento dos critérios de verificação de autolimpeza.

A presente dissertação tem ainda objetivos secundários relacionados com a poupança de material consumido na rede, não decorrente dos critérios de verificação das condições de autolimpeza. É o caso da introdução de sistemas de ventilação não obrigatórios ou do recurso a coletores com diâmetros inferior ao mínimo regulamentar.

1.3. Metodologia

Para enquadrar os critérios de verificação das condições de autolimpeza nas redes prediais de drenagem de esgotos, optou-se, na presente dissertação, por efetuar uma comparação com os critérios definidos em documentos técnicos e regulamentares de outros países desenvolvidos. Esta comparação permite avaliar o potencial de aligeiramento dos critérios aplicáveis em Portugal e propor novos critérios de verificação das condições de autolimpeza.

Com o objetivo de avaliar o impacto das alterações do critério propostas, são considerados dois casos de estudo correspondentes a edifícios de habitação de média dimensão, para os quais se efetua o dimensionamento da rede de drenagem pelos critérios vigentes e pelos critérios propostos.

A comparação das redes dimensionadas será efetuada de forma simplificada, através de uma análise orçamental, na qual se estimam os custos de aquisição e instalação das redes. Assume-se que os custos de manutenção (durabilidade) serão idênticos para ambos os casos de análise em cada caso de estudo, pelo que não se justifica a elaboração de uma análise económica num determinado horizonte temporal.

Os casos de estudo serão ainda utilizados para avaliar o impacto de duas medidas de poupança de consumos não relacionados com as condições de autolimpeza. Assim, serão comparadas as soluções com tubos de queda de maior dimensão com soluções alternativas com tubos de queda de menor dimensão apoiado por colunas de ventilação secundários. Também se comparará as soluções com coletores prediais obedecendo aos diâmetros mínimos regulamentares com a solução alternativa que não se satisfaz o diâmetro mínimo, cumprindo, no entanto, todos os critérios de escoamento e autolimpeza. Por simplicidade a comparação de soluções foi efetuada, mais uma vez, com base numa análise orçamental.

1.4. Estrutura geral

No Capítulo 1 é abordado a motivação desta dissertação, os seus objetivos e metodologia efetuada para se atingir estes objetivos.

O Capítulo 2 apresenta uma base teórica de hidráulica de forma a facilitar a compreensão dos diversos métodos de cálculo utilizados, como por exemplo a definição de tensão de arrastamento e a sua fórmula matemática. Além disso, tem como objetivo a diferenciação dos diversos tipos de águas nos sistemas de drenagem de águas residuais e os seus componentes, tal como a definição da capacidade de transporte de um líquido e a sua importância para os sistemas prediais de drenagem de águas residuais. Também são apresentados os tipos de sedimentos presentes nos sistemas de drenagem de águas residuais, o seu tamanho e a maneira como o seu transporte se realiza. E vários valores de tensões de arrastamento obtidos em vários estudos laboratoriais.

No Capítulo 3 são apresentadas as legislações relativas aos critérios de autolimpeza dos sistemas de drenagem de águas residuais dos vários países analisados, com o objetivo de obter diversos valores mínimos e máximos de velocidade de escoamento e tensão de arrastamento e, posteriormente, relacioná-los com os valores da legislação Portuguesa.

No Capítulo 4 são comparadas as várias velocidades e tensões mínimas de arrastamento dos diferentes regulamentos, de forma a demonstrar se e onde, os critérios da legislação Portuguesa são conservativos, e se existe possibilidade de alteração dos mesmos.

No Capítulo 5 é abordado o propósito dos casos de estudo e a sua importância. Além disso, é descrito como é feito o dimensionamento de diversos componentes dos sistemas prediais de drenagem de águas domésticas e pluviais. Nos critérios de dimensionamento, será retirado o diâmetro mínimo dos coletores prediais, colocadas colunas de ventilação em todos os tubos de queda domésticos e diminuído a velocidade mínima permitida no sistema de drenagem de águas residuais pluviais de 0,9m/s para 0,6m/s

Nos Capítulos 6 e 7, são apresentados os dois casos de estudo, com dois edifícios onde se pretende implementar um sistema de drenagem de águas domésticas e pluviais. Estes casos de estudo, permitem demonstrar a aplicação de diversos critérios de autolimpeza, e o seu impacto no dimensionamento e custo do sistema de drenagem de águas residuais.

Por fim, no Capítulo 8 serão apresentadas as conclusões mais relevantes que resultam da elaboração da presente dissertação.

2. CAPACIDADE DE TRANSPORTE

Os conceitos descritos neste capítulo são bem conhecidos do departamento de hidráulica, pelo que se optou por efetuar uma expressão com base num máximo reduzido de referências, privilegiando-se “Hidráulica”, de António Quintela [2].

2.1. Noções básicas de hidráulica

2.1.1. Tipos de escoamentos

São possíveis três tipos de escoamentos em superfície livre: permanente, variável e uniforme [1].

Num escoamento permanente, a velocidade varia em função das coordenadas, mas independentemente do instante, ou seja, a velocidade varia consoante a sua posição, mantendo-se constante ao longo do tempo.

Num escoamento variável a velocidade num ponto encontra-se em função das coordenadas do ponto e do instante considerado. Logo, a velocidade das partículas que passam em cada ponto varia de instante para instante.

Por fim, num escoamento uniforme a velocidade é constante ao longo de cada trajetória, sendo constante em módulo bem como direção. Neste tipo de escoamento as trajetórias são retilíneas.

2.1.2. Caudal

O caudal Q consiste no volume de fluido que percorre uma superfície em função de uma unidade temporal. O seu cálculo pode ser realizado através da equação (1) [1].

$$Q = v \times A , \quad (1)$$

em que:

Q – Caudal escoado;

v – Velocidade de escoamento (m/s);

A – Área da secção líquida (m²).

2.1.3. Teorema de Bernoulli

O teorema de Bernoulli estabelece que, em líquidos perfeitos (líquido ideal de compressibilidade e de viscosidade nula), movimentos permanentes, a energia mecânica total por unidade de peso de líquido é constante ao longo de cada trajetória. Em caso de trechos curtos de escoamento permanentes partindo do repouso ou fortemente acelerados, pode-se admitir que os líquidos reais se comportam como perfeitos e que a carga total é constante, em qualquer ponto do líquido ou da sua trajetória.

Através da equação (2) podemos calcular a energia mecânica total por unidade de peso de líquido, ou carga total em m.c.a. (metros coluna de água) [1].

$$H = \frac{p}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2g} , \quad (2)$$

em que:

γ – Peso volúmico do líquido (N/m³);

p – Pressão a que está submetido o líquido (Pa);

g – Aceleração da gravidade (m/s²).

O primeiro termo do trinómio é designado por altura piezométrica e representa a energia de pressão da unidade de peso do líquido submetido à pressão p . O segundo termo, Z , é a cota piezométrica em relação a um plano horizontal de referência e representa a energia de posição da unidade de peso de líquido situada à cota Z . O terceiro e último termo é designado por altura cinética e corresponde à energia cinética por unidade de peso [1].

2.1.4. Escoamento com superfície livre

Um escoamento diz-se em superfície livre quando um líquido percorre um canal e o seu contorno se encontra parcialmente em contacto com a atmosfera ou outro meio gasoso. Nestas condições, a designação tanto pode ser aplicada a cursos de água artificiais em que o seu escoamento seja feito em superfície livre, como a cursos de água naturais (rios, ribeiros).

Considerando o escoamento uniforme em canais de secção constante ao longo do seu percurso, o caudal escoado será de igual forma constante também. No caso de secções simples, a perda de carga unitária é considerada igual à diminuição, na unidade de percurso, da cota do perfil longitudinal do leito, sendo, assim, igual ao seno do ângulo que o canal forma com a horizontal. Como já foi referido anteriormente, no caso de declives pequenos, a perda de carga pode ser considerada igual ao declive do canal, sendo esta variável representada por i (m/m).

Quando o líquido em movimento é a água, pode-se admitir geralmente que o escoamento é puramente turbulento, podendo aplicar-se a equação (3) de Gauckler-Manning-Strickler [1].

$$Q = K \times A \times R_h^{2/3} \times i^{1/2} , \quad (3)$$

onde K representa o coeficiente de rugosidade da tubagem (m^{1/3}/s), R_h o raio hidráulico (m) e i o declive do canal (m/m).

Para canais com secções fechadas superiormente, contrariamente ao que pode parecer, a máxima capacidade de transporte, e conseqüentemente, o máximo caudal transportado em regime uniforme, não correspondem à máxima altura líquida na secção. Isto ocorre devido ao aumento da área de secção com a altura não compensar a redução do raio hidráulico, o que é consequência do acréscimo do perímetro molhado.

As equações para o cálculo de grandezas geométricas referentes a secções circulares são apresentadas na Figura 1.

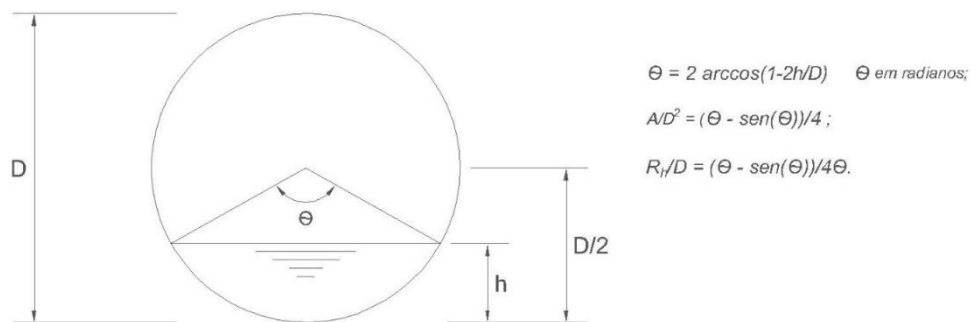


Figura 1 - Grandezas geométricas para secções circulares [1].

2.1.5. Tensão de arrastamento

Um escoamento em contacto com uma fronteira sólida, origina o desenvolvimento de forças de contacto com componentes tangenciais à superfície da fronteira.

É considerado um percurso com comprimento, L (m), constituído por um escoamento uniforme num tubo. A força de arrastamento é designada por R_x e consiste na resultante das componentes tangenciais das forças exercidas sobre a parede. O perímetro molhado é designado por P (m), e corresponde ao comprimento do contorno no qual o líquido está em contacto com a parede da tubagem, numa secção transversal (quando o movimento é uniforme, P não varia).

A tensão de arrastamento é calculada utilizando a equação (4) [2].

$$\tau = \frac{R_x}{P \times L} \quad (4)$$

No caso de tubos com secção circular, a tensão tangencial é distribuída uniformemente pelo perímetro molhado, sendo o seu valor médio calculado através da equação (4). Em casos em que a tubagem tenha uma secção não circular e em canais, a tensão tangencial tem uma distribuição não uniforme, sendo que τ (Pa) representa o seu valor médio no perímetro molhado.

No tipo de escoamento uniforme, com superfície livre ou sob pressão, a tensão de arrastamento, τ , está relacionada com a perda de carga unitária como se poderá constatar mais à frente.

O raio hidráulico é dado pela equação (5) para o caso geral, correspondendo a equação (6) para o caso do escoamento em secção cheia ou meia secção [2].

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (5)$$

onde A representa a área da secção líquida (m^2), e P o Perímetro molhado (m).

$$R_h = \frac{D}{4} \quad (6)$$

em que D representa o diâmetro interno da tubagem (m).

A equação da tensão de arrastamento pode ser formulada aplicando o teorema de Euler no caso de um trecho com escoamento em regime uniforme (com superfície livre ou sob pressão, sendo independente da forma da secção transversal da tubagem). Esta aplicação encontra-se desenvolvida, com base no escoamento uniforme com superfície livre representado na Figura 2 [2].

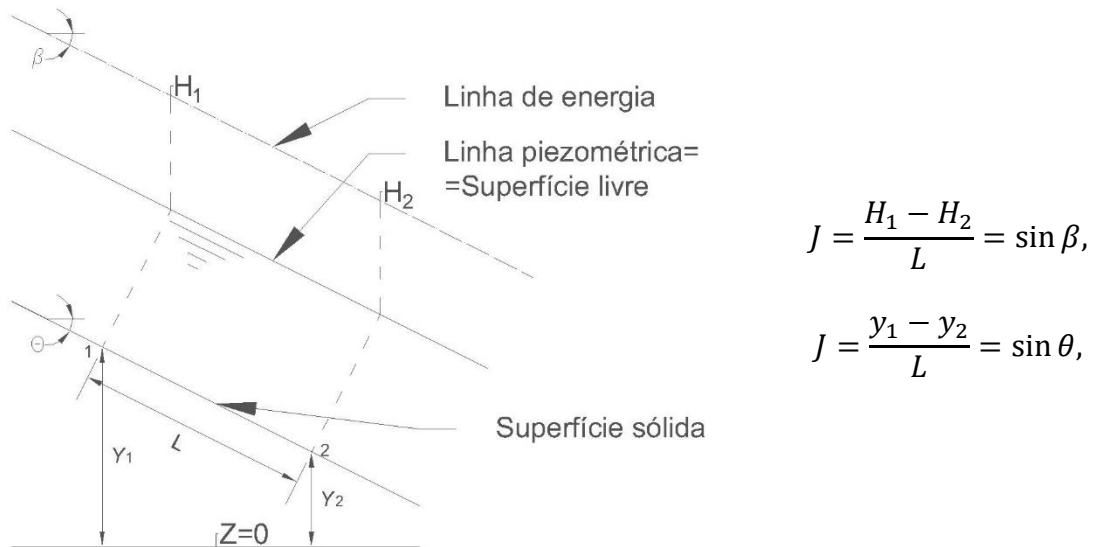


Figura 2- Escoamento uniforme com superfície livre

É relevante referir que no caso de escoamento com superfície livre, o perfil da superfície livre coincide com a linha piezométrica. Em regime uniforme estas são paralelas ao perfil longitudinal do fundo do canal, como é possível observar na Figura 2, a perda de carga unitária toma o valor do seno do ângulo θ , que é formado pelo perfil longitudinal do fundo do canal com a horizontal, como se pode ver na equação (7) [2].

$$J = \sin \theta . \quad (7)$$

Para valores reduzidos de θ a perda de carga pode tomar a igualdade presente na equação (8) [2].

$$J \cong \tan \theta = i . \quad (8)$$

Agora aplicando o teorema de Euler ao volume entre as seções 1 e 2 do escoamento uniforme com superfície livre representado na Figura 2 obtêm-se as equações (9) e (10) [2].

$$\vec{G} + \vec{\Pi} + \vec{M}_1 - \vec{M}_2 = 0 , \quad (9)$$

$$\vec{G} + \vec{\Pi}_1 + \vec{\Pi}_2 + \vec{\Pi}_3 = 0 , \quad (10)$$

Como

$$\vec{M}_1 = \vec{M}_2 ,$$

Sendo assim chegamos à equação (11) [2].

$$\vec{\Pi} = \vec{\Pi}_1 + \vec{\Pi}_2 + \vec{\Pi}_3 , \quad (11)$$

em que $\vec{\Pi}_1$ e $\vec{\Pi}_2$ representam as impulsões que o líquido exterior exerce sobre o líquido contido no volume considerado, através das secções 1 e 2, e $\vec{\Pi}_3$ representa a resultante das forças exercidas pelo tubo sobre o líquido. \vec{M}_1 e \vec{M}_2 constituem os vetores da quantidade de movimento do líquido que atravessa a respetiva secção na unidade de tempo e \vec{G} representa o vetor do peso do líquido [2].

Se, em substituição de $\vec{\Pi}_3$, se utilizar a resultante \vec{R} das forças que o líquido exerce sobre o tubo ($\vec{R} = -\vec{\Pi}_3$) e se for considerado as componentes das diferentes forças na direção do sentido do movimento e no seu eixo de movimento, é possível obter a equação (12) [2].

$$G_x + \Pi_{1x} + \Pi_{2x} - R_x = 0 , \quad (12)$$

em que R_x representa a força de arrastamento.

Tendo em conta as relações:

$$\begin{aligned} G_x &= \gamma \times A \times L \times \sin \theta ; & \Pi_{1x} &= p_1 \times A ; \\ L \times \sin \theta &= y_1 - y_2 ; & \Pi_{2x} &= -p_2 \times A . \end{aligned}$$

em que y_1 e y_2 representam as cotas e p_1 e p_2 as pressões, nos eixos das secções 1 e 2, a equação (12) transforma-se na equação (13).

$$R_x = \gamma \times A \times J \times R_h . \quad (13)$$

E, assim, finalmente, é possível chegar à equação simplificada da tensão de arrastamento:

$$\tau = \frac{R_x}{P \times L} = \frac{\gamma \times A \times J \times L}{P \times L} = \gamma \times J \times R_h , \quad (14)$$

$$\tau = \gamma \times i \times R_h . \quad (15)$$

Como já foi referido, para valores pequenos de θ , a perda de carga é igual à $\tan \theta$, i.e. ao declive i (m/m) da tubagem [2].

2.2. Sedimentos em tubagens de esgoto

Em tubagens de esgoto são transportadas águas residuais domésticas e pluviais. As águas residuais domésticas consistem na água que tem origem em acessórios domésticos, como por exemplo as banheiras/ bases de duchas, sanitas, máquinas de lavar roupa/louça e o lavatório. Este tipo de águas ainda pode ser separado em duas categorias: as águas cinzentas, provenientes das cozinhas, cuja concentração de gorduras e conteúdo sólido é considerável; e as águas negras, oriundas das sanitas, as quais contêm matéria orgânica e bactérias patogênicas. O caudal deste tipo de águas residuais é normalmente variável ao longo do dia, coincidindo o pico com os períodos de maior utilização dos dispositivos sanitários e máquinas, sendo, ao início da manhã e ao final da tarde/início da noite.

As águas residuais pluviais são provenientes da drenagem da cobertura e de zonas exteriores com pavimento, como, por exemplo, varandas ou logradouros. O caudal deste tipo de águas está relacionado com a precipitação e é calculado com base nas áreas de cobertura ou pavimento expostas ao meio ambiente. É de notar que a quantidade de poluentes neste tipo de águas será em princípio menor que no caso das águas domésticas.

Na drenagem de águas residuais, é necessário que ocorra um arrastamento pela corrente do escoamento das substâncias sólidas existentes, parte destas solúveis e com características diversas quanto ao seu tamanho, peso específico e forma. Caso este arrastamento não ocorra, pode dar-se sedimentação de alguns destes materiais, com perda de secção e uma consequente diminuição da capacidade hidráulica do escoamento e possíveis bloqueios do sistema de drenagem.

Deste modo, é necessário um correto dimensionamento das tubagens de águas residuais para que o transporte dos líquidos ao seu destino final seja efetuado da forma mais rápida e eficiente, e de forma a minimizar/anular os efeitos negativos dos sedimentos.

Para um sistema possuir as condições enunciadas, é necessário definir requisitos mínimos para a capacidade de transporte das águas residuais. Por exemplo uma velocidade de escoamento mínima, v (m/s), ou uma tensão mínima de arrastamento, τ (Pa).

A presença destas condições é necessária para que as tubagens de águas residuais apresentem capacidade de autolimpeza e assim, exijam uma manutenção menos frequente, com menor ocorrência de bloqueios. Os quais trazem diversos inconvenientes para o utente. Além disso é necessário que estas condições sejam atingidas no mínimo, uma vez por dia, para que o transporte de sedimentos seja assegurado.

O transporte dos sedimentos nos esgotos (*Quintela, 1981*) pode ser do tipo:

- 1) Transporte sólido por arrastamento: consiste no transporte dos elementos sólidos por rolamento e escorregamento sobre o fundo da tubagem;
- 2) Transporte sólido por suspensão: os elementos sólidos deslocam-se no seio do escoamento, podendo contactar esporadicamente o fundo.
- 3) Transporte sólido por suspensão e arrastamento alternado (“saltação” [2]): os elementos sólidos deslocam-se alternadamente por pequenos saltos e por rolamento e escorregamento sobre o fundo;

Como os sistemas de drenagem contêm sedimentos com variados diâmetros, podem existir diferentes tipos de transporte sólido simultaneamente. Nestes casos, os sedimentos com maior peso e dimensão

irão ser transportados por arrastamento ou alternado, e os sólidos mais leves e pequenos serão transportados por suspensão.

Para entender o valor da tensão mínima de arrastamento, ou velocidade mínima de escoamento, é necessário conhecer as dimensões médias das partículas existentes nos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas e/ou pluviais. No Quadro 1 encontram-se representados os tipos de sedimentos e as suas respetivas dimensões, presentes nestes sistemas de drenagem de acordo com Enfinger (2010) [3].

Quadro 1 - Tipo e dimensão dos sedimentos presentes nas águas residuais.

Tipo de sedimento	Tipo de transporte	Diâmetro médio do sedimento (mm)			Densidade relativa		
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Sanitário	Suspensão (2)	0,01	0,04	0,06	1,01	1,40	1,60
Pluvial	Suspensão (2)	0,02	0,06	0,10	1,10	2,00	2,50
Grãos de areias	Arrasto/alternado (1 e 3)	0,30	0,75	1,00	2,30	2,60	2,70

Tendo em conta os dados no Quadro 1, a tensão mínima de arrastamento para realizar a autolimpeza do sistema de drenagem, será igual à tensão necessária para realizar o transporte sólido por arrastamento da maior partícula presente no sistema. O transporte de partículas de menores dimensões será realizado de igual forma ou por suspensão/saltação.

A tensão de arrastamento τ (dimensões de uma força distribuída pela superfície), surge da consideração do peso do elemento líquido e a sua distribuição pela superfície lateral que o mesmo ocupa.

Com efeito, a “força de arrastamento” do escoamento resulta da descompressão do peso do elemento líquido segundo a direção do plano inclinado constituído por uma inclinação e um “canal” com secção circular. Este movimento do líquido é contrabalançado pela tensão de arrastamento, que resulta da distribuição da “força de arrastamento” pela sua área de fronteira.

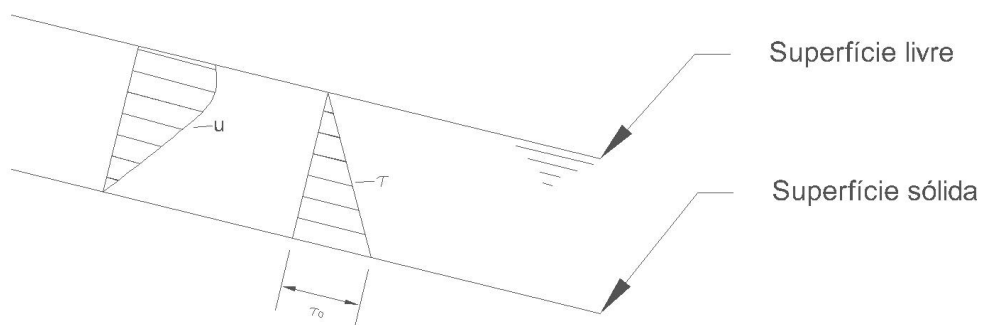


Figura 3- Gradiente da tensão de arrastamento [2]

A tensão de arrastamento não é constante, variando com o raio. Os seus valores variam entre um valor nulo à superfície livre, e um máximo na superfície de contacto da água com o tubo. Na Figura 3 é possível observar a variação da tensão de arrastamento e da velocidade de escoamento segundo a profundidade, num canal com escoamento uniforme.

De forma simplificada a fórmula da tensão de arrastamento pode ser definida, pela equação (15) [2].

À capacidade de as tubagens de águas residuais efetuarem o transporte de sedimentos sólidos, evitando a sua deposição chama-se tensão de arrastamento. Como já foi referido, para que a evacuação dos sedimentos seja possível, apenas é necessário que o valor desta tensão seja superior ao mínimo uma vez por dia.

As condições do início do transporte sólido por arrastamento em canais não erodíveis, e com sedimentos sem coesão, têm sido objeto de vários estudos. Nestes estudos procura-se definir a tensão crítica de arrastamento, τ_c , em função das características dos sedimentos e do líquido, recorrendo-se, mais frequentemente, à via experimental [2].

Em estudos laboratoriais, a observação do fundo mostra que, próximo do valor crítico da tensão de arrastamento, tem início o movimento de alguns grãos em pulsações distribuídas aleatoriamente no espaço e no tempo. Assim, devido à natureza dos processos de arrastamento, não existem, verdadeiramente, condições críticas para as quais o movimento dos grãos do fundo se inicie subitamente. Por isso, em 1936, Shields [2] determinou tensões críticas de arrastamento sobre fundos horizontais, extrapolando, até ao valor nulo do caudal sólido, a relação entre o caudal sólido transportado por arrastamento e a tensão de arrastamento, para diferentes características dos sedimentos.

A curva representada no diagrama de Shields (Figura 4) relaciona o parâmetro adimensional representado na equação (16), com o número de Reynolds do escoamento das partículas, R_e^* , dado na equação (17), para as condições críticas.

$$\tau_* = \frac{\tau_c}{(\gamma_S - \gamma) \times D_{50}} ; \quad (16)$$

$$R_e^* = \frac{V_c^* \times D_{50}}{\nu} ; \quad (17)$$

em que:

τ_* – Tensão de arrastamento adimensional;

τ_c – Tensão crítica de arrastamento (Pa ou N/m²);

D_{50} – Diâmetro médio dos elementos sólidos (m);

γ_S – Peso volúmico do material sólido (N/m³);

ν – Viscosidade cinemática do líquido (m²/s) ($\nu=1,00 \times 10^{-6}$ m²/s, para água a 20°C);

V_c^* - Velocidade de atrito correspondente às condições críticas, definida por $V_c^* = \sqrt{\tau_c / \rho}$;

ρ – Massa volúmica do material sólido (kg/m³).

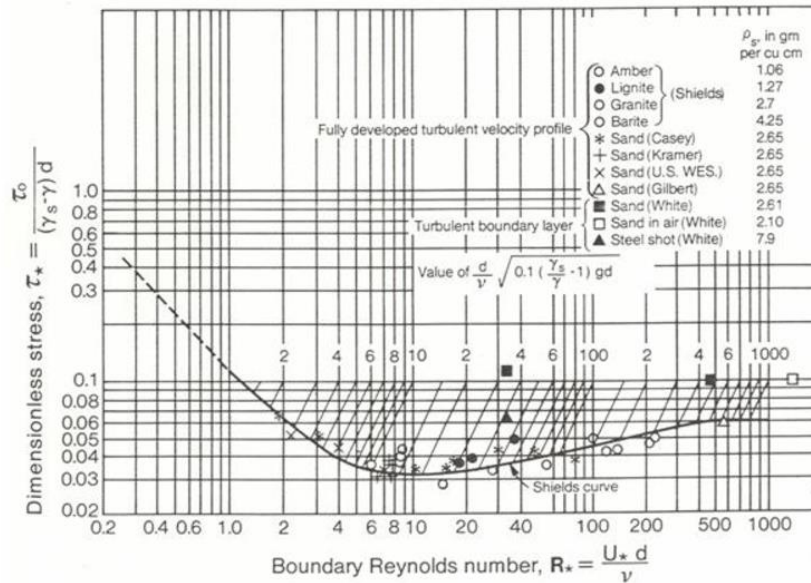


Figura 4 - Diagrama de Shields [2]

Possuindo valores para D_{50} , γ_s , γ e ν , a determinação da tensão crítica a partir da curva de Shields exigiria iterações, que são evitáveis devido à introdução de um eixo graduado no diagrama, em relação a um terceiro parâmetro adicional apresentado na equação (18).

$$\frac{D_{50}}{\nu} \times \sqrt{0,1 \times \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) \times g \times D_{50}} \quad (18)$$

Uma vez marcado sobre o eixo o valor deste parâmetro, segue-se a linha inclinada que parte do ponto obtido, lendo-se o valor da tensão adimensional (eixo vertical), sobre a curva, e a partir desse valor é calculado a tensão crítica de arrastamento.

Diversos autores [4] têm apresentado valores de tensões críticas de arrastamento com valores diferentes dos obtidos com a curva de Shields. Esta diferença deve-se à influência das formas de fundo, não plano, ou da concentração de sedimentos na água. Além disso, este método de cálculo não tem em consideração as propriedades de coesão dos sedimentos presentes nos sistemas de drenagem prediais, mas é importante para compreender a influência das diversas características dos sedimentos na tensão crítica dos mesmos. Nos exemplos seguintes é ilustrado esta influência.

- Exemplo 1 ($D_{50} = 1\text{mm}$; $\frac{\gamma_s}{\gamma} = 2,7$):

$$\frac{0,001}{1,00 \times 10^{-6}} \times \sqrt{0,1 \times (2,7 - 1) \times 9,8 \times 0,001} = 40,82 \rightarrow \frac{\tau_c}{(2,7 - 1) \times 9800 \times 0,001} = 0,035$$

$$\rightarrow \tau_c = 0,58 \text{ N/m}^2$$

- Exemplo 2 ($D_{50} = 1\text{mm}$; $\frac{\gamma_s}{\gamma} = 2,3$):

$$\frac{0,001}{1,00 \times 10^{-6}} \times \sqrt{0,1 \times (2,3 - 1) \times 9,8 \times 0,001} = 35,92 \rightarrow \frac{\tau_c}{(2,3 - 1) \times 9800 \times 0,001} = 0,032$$

$$\rightarrow \tau_c = 0,41 \text{ N/m}^2$$

- Exemplo 3 ($D_{50} = 0,3\text{mm}$; $\frac{\gamma_s}{\gamma} = 2,7$):

$$\frac{0,0003}{1,00 \times 10^{-6}} \times \sqrt{0,1 \times (2,7 - 1) \times 9,8 \times 0,0003} = 6,71 \rightarrow \frac{\tau_c}{(2,7 - 1) \times 9800 \times 0,0003} = 0,039$$

$$\rightarrow \tau_c = 0,19 \text{ N/m}^2$$

- Exemplo 4 ($D_{50} = 0,3\text{mm}$; $\frac{\gamma_s}{\gamma} = 2,3$):

$$\frac{0,0003}{1,00 \times 10^{-6}} \times \sqrt{0,1 \times (2,3 - 1) \times 9,8 \times 0,0003} = 5,86 \rightarrow \frac{\tau_c}{(2,3 - 1) \times 9800 \times 0,0003} = 0,042$$

$$\rightarrow \tau_c = 0,16 \text{ N/m}^2$$

Quadro 2 - Aplicação do método de Shields aos quatro exemplos

Exemplo	D_{50} (mm)	$\frac{\gamma_s}{\gamma}$	τ_c (N/m ²)
1	1,00	2,70	0,58
2	1,00	2,30	0,41
3	0,30	2,70	0,19
4	0,30	2,30	0,16

Como se pode observar na tabela anterior, o diâmetro médio dos sedimentos é o parâmetro que mais influencia a tensão crítica de arrastamento. De seguida, estes valores irão ser comparados com valores de estudos laboratoriais referentes a sistemas de drenagem de águas residuais.

Com o método de Shields, a tensão crítica de arrastamento foi calculada para a maior partícula presente nos sistemas de drenagem de águas residuais: uma partícula com 1mm de diâmetro médio e uma densidade relativa de 2,7. Com estes valores chegou-se a uma tensão crítica de 0,58 N/m² (exemplo 1). No entanto, este valor não contabiliza a coesão entre os diversos sedimentos presentes nos sistemas de drenagem e é dimensionado para canais de fundo horizontal, o que não é o caso dos tubos utilizados em sistemas de drenagem com tubagens/canais com fundos circulares, contendo, no seu interior, gorduras e sólidos orgânicos e não orgânicos, responsáveis pela origem da coesão entre sedimentos.

Para analisar esta situação, foram realizados vários estudos experimentais [5], os quais chegaram a uma tensão mínima de arrastamento através de dados experimentais laboratoriais, como é o caso de Yao [5] que aconselha uma tensão de arrastamento superior a 1 a 2 N/m² para sistemas separados ou 3 a 4 N/m² para sistemas mistos (águas residuais domésticas e pluviais juntas), considerando sedimentos com diâmetros médios na ordem de 0,2 a 1mm. Também adverte como critério de limpeza uma velocidade superior a 0,5 a 1,0 m/s para tubagens de menor diâmetro, e de 0,8 a 1,0 m/s para as maiores tubagens. Outros valores de tensão mínima de arrastamento utilizados como referência na europa são os 2,45 Pa e os 6,2 Pa (regra de Maguire [6]). O primeiro valor (2,45 Pa) é obtido utilizando como inclinação mínima 1/D (com D em milímetros) e a equação (15) como se pode observar de seguida [6]:

$$\tau = \gamma \times \frac{1}{D} \times R_h = 9800 \times \frac{1}{50} \times \frac{0,05}{4} = 2,45 \text{ Pa } (D = 50\text{mm}).$$

Para exemplificar a regra de Maguire foi utilizado um diâmetro de 50mm, mas o resultado seria igual para qualquer variante deste. O segundo valor advém da regra de Maguire, para uma inclinação mínima imposta de 1/10D (com D em polegadas) para o cálculo da tensão mínima, com base na equação (15) como se descreve a seguir [6]:

$$\tau = \gamma \times \frac{1}{10D} \times R_h = 9800 \times \frac{1}{10 \times 1,96850} \times \frac{0,05}{4} = 6,2 \text{ Pa } (D = 50\text{mm}).$$

Como se pode verificar, os valores obtidos utilizando o gráfico de Shields são menores que os obtidos experimentalmente. Isto deve-se à presença de gorduras e sedimentos sólidos orgânicos/inorgânicos, que, ao originarem a coesão entre os sedimentos, criam a necessidade de uma tensão de arrastamento superior, para a realização da autolimpeza do sistema predial de drenagem.

Os diversos estudos laboratoriais permitem concluir que os valores obtidos pelo método de Shields não são adequados a sistemas de drenagem prediais de águas residuais, e que uma tensão de arrastamento na ordem de 1 a 2 Pa poderá ser suficiente para realizar a autolimpeza dos sistemas.

3. REVISÃO DE LEGISLAÇÃO E NORMAS

Neste capítulo foi feita uma revisão de um conjunto legislativo de regulamentos e normas existentes em vários países, relativamente aos critérios de autolimpeza dos sistemas prediais de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais, com a finalidade de efetuar uma comparação entre estes valores e de avaliar a possibilidade de sugerir eventuais alterações na legislação portuguesa.

Foram escolhidos os países com maior grau de desenvolvimento de cada continente, sendo os seguintes: Portugal; Espanha; Reino Unido; Alemanha; E.U.A.; Canadá; México; Brasil; Chile; Austrália.

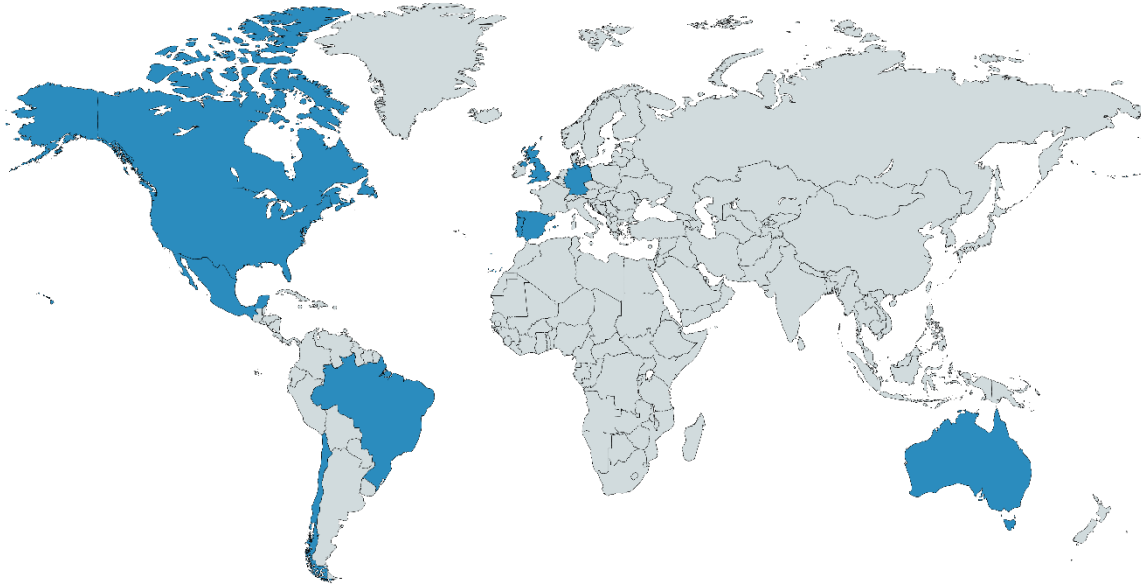


Figura 5 - Países analisados.

3.1. Legislação em Portugal

Na legislação portuguesa [N1], para os sistemas prediais de águas residuais domésticas e pluviais não existe referência a uma tensão mínima de arrastamento, mas apenas a necessidade de cumprir uma velocidade mínima de escoamento. Além disso, é imposta uma velocidade máxima com o intuito de diminuir a erosão interna da tubagem e assim aumentar a sua vida útil. Os valores das velocidades são impostos para coletores urbanos, podendo também ser aplicados aos sistemas prediais. Estes valores são apresentados no Quadro 3.

Apesar de não estar referido na legislação, surgem recomendações de Vitor Pedroso [7] para a adoção de um valor de tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa como critério de autolimpeza. Como estes documentos não fazem parte da legislação, este valor mínimo para a tensão de arrastamento pode apenas ser tido em conta para comparações com outros regulamentos. São também recomendadas as velocidades mínimas indicadas no Quadro 3 por Vitor Pedroso [7]. Para além destes valores, é mencionada uma velocidade mínima de 1,2 m/s para águas residuais domésticas caso estas contenham altos teores de gordura. Estes valores não são considerados no Quadro 3.

É importante referir que a legislação aplicada atualmente se encontra no processo de ser atualizada, mas apesar disto, muito provavelmente não iram existir alterações dos critérios de autolimpeza. Com isto em conta, considerou-se os critérios aplicados na legislação atual.

Quadro 3 – Critérios regulamentados de autolimpeza [N1]

	Águas domésticas	Águas pluviais
Velocidade mínima (m/s)	0,6	0,9
Velocidade máxima (m/s)	3,0	5,0
Tensão mínima de arrastamento (Pa)	-	

3.2. Legislação em Espanha

Na legislação espanhola [N2] é exigida uma velocidade mínima de escoamento como critério de autolimpeza para o dimensionamento dos sistemas prediais de drenagem das águas residuais domésticas e pluviais. No entanto, não existe diferenciação entre os dois tipos de águas residuais, sendo a velocidade mínima igual para águas domésticas e pluviais.

Em relação à velocidade máxima, apesar de esta não ser um requisito de autolimpeza, é uma imposição para o dimensionamento das tubagens, devido à prevenção da erosão interna das mesmas. Esta velocidade depende do material utilizado nas tubagens.

No Quadro 4 são apresentadas as exigências de velocidade para o escoamento de águas prediais residuais domésticas e pluviais em Espanha.

Quadro 4 - Velocidades mínimas e máximas da legislação espanhola [N2]

	Águas domésticas	Águas pluviais
Velocidade mínima (m/s)	0,6	
Velocidade máxima (m/s)	3,0 - 6,0	

3.3. Legislação no Reino Unido

Segundo a legislação inglesa [N3] são exigidos como critérios de autolimpeza, uma velocidade mínima e máxima de escoamento e uma tensão mínima de arrastamento [4]. Estes valores são apresentados no Quadro 5.

É importante referir que a legislação aplicado no Reino Unido tem por base a legislação aplicada na união europeia (EN 12056).

Como no caso da legislação portuguesa, estes valores são referentes a coletores urbanos, mas podem ser utilizados para coletores prediais, uma vez que a única diferença entre os dois sistemas é o diâmetro das tubagens utilizadas.

Quadro 5 - Critérios de autolimpeza na legislação do Reino Unido [N3]

	Águas domésticas	Águas pluviais	Águas mistas
Velocidade mínima (m/s)	0,6	0,75	1,0
Velocidade máxima (m/s)	3,0	6,0	6,0
Tensão mínima de arrastamento (Pa)	6,2		

3.4. Legislação na Alemanha

Na legislação alemã [8] são exigidas várias velocidades mínimas como critério de autolimpeza para o dimensionamento das tubagens prediais de águas residuais. Os valores das velocidades mínimas e máximas exigidas variam conforme a localização da tubagem e encontram-se definidos no Quadro 6.

Quadro 6 - Critérios de autolimpeza para coletores domésticos e pluviais na Alemanha [8].

Critérios de autolimpeza	Coletores Prediais Domésticos		Coletores Prediais Pluviais	
	Dentro do edifício	Fora do edifício	Dentro do edifício	Fora do edifício
<i>Inclinação mínima</i>	0,5 cm/m	1:DN	0,5 cm/m	1:DN
<i>Velocidade mínima (m/s)</i>	0,5	0,7	0,7	
<i>Velocidade máxima (m/s)</i>	2,5		2,5	
<i>Tensão mínima de arrastamento (Pa)</i>	2,5			

Nesta legislação também estão explícitos os critérios de autolimpeza caso os coletores sejam mistos (domésticos e pluviais). Estes critérios são indicados no Quadro 7.

Quadro 7 - Critérios de autolimpeza em coletores mistos na legislação alemã [8]

Critérios de autolimpeza	Coletores Prediais Mistos	
	Dentro do edifício	Fora do edifício
<i>Inclinação mínima</i>	1:DN	
<i>Velocidade mínima (m/s)</i>	0,7	
<i>Velocidade máxima (m/s)</i>	2,5	
<i>Tensão mínima de arrastamento (Pa)</i>	2,5	

3.5. Legislação nos E.U.A.

Como em algumas legislações anteriores, na legislação norte-americana [N4] grande parte dos critérios de autolimpeza são impostos a coletores urbanos/públicos. Para além disso, é importante referir que muitos dos estados adotam uma legislação independente, tornando ainda mais difícil a identificação de valores concretos e homogêneos para o país inteiro.

No que se refere ao sistema predial de águas domésticas, de forma a prevenir a deposição de sólidos nas tubagens, existe uma tensão mínima de arrastamento e uma velocidade mínima de escoamento a cumprir, a qual é igual em todos os estados. Estas exigências são indicadas no Quadro 8.

Quadro 8 - Velocidade mínima para coletores prediais domésticos na legislação dos E.U.A. [N4]

	Velocidade mínima (m/s)	Tensão mínima de arrastamento (Pa)
<i>Águas domésticas</i>	0,6	2,0

Para além destes valores, existem valores regulamentados para os coletores urbanos de águas domésticas, pluviais e mistas, os quais se indicam no Quadro 9 [N5]. Como já foi referido, estes valores de velocidade podem ser utilizados para o dimensionamento dos coletores prediais.

Quadro 9 - Critérios de autolimpeza na legislação norte-americana [N5].

	Águas domésticas	Águas pluviais	Águas mistas
<i>Velocidade mínima (m/s)</i>	0,6	0,9	0,9
<i>Velocidade máxima (m/s)</i>	4,6	4,6	4,6
<i>Tensão mínima de arrastamento (Pa)</i>	3,0		

É importante referir que para velocidades de escoamento superiores a 3,0 m/s, é necessário ter considerações especiais na escolha do material a utilizar para as tubagens, de forma a garantir a sua resistência à erosão por parte dos sedimentos.

3.6. Legislação no Canadá

No Canadá ocorre o mesmo problema que na legislação portuguesa, na qual não existem valores mínimos de velocidades, para os sistemas prediais de águas residuais, mas apenas para os coletores urbanos. Mas, como já foi referido, os critérios de autolimpeza para os coletores urbanos podem ser utilizados para os sistemas prediais. Estes valores são indicados no Quadro 10 [N6].

Quadro 10 - Critérios de autolimpeza na legislação do Canadá [N6]

	Águas domésticas	Águas pluviais
Velocidade mínima (m/s)	0,6	0,8
Velocidade máxima (m/s)	3,0	6,0

No caso dos coletores pluviais é relevante ter em atenção a velocidade implementada, uma vez que, tal como nos E.U.A., para velocidades superiores a 3 m/s é necessário ter considerações especiais no tipo de material utilizado devido à possível erosão da tubagem.

3.7. Legislação no México

Na legislação mexicana [9] é exigida como critério de autolimpeza apenas uma velocidade mínima de escoamento para os sistemas prediais de águas residuais. Em relação à tensão de arrastamento, não existe qualquer regulamento que exija um valor mínimo. Os valores das velocidades mínimas e máximas encontram-se definidos no Quadro 11.

Quadro 11 - Critérios de autolimpeza na legislação mexicana [9]

	Águas Domésticos	Águas Pluviais
Velocidade mínima (m/s)	0,6	0,6
Velocidade máxima (m/s)	2,5	3,0 – 5,0

São definidos valores diferentes da velocidade máxima permitida nos coletores pluviais em função do material utilizado e da sua capacidade de resistir à erosão provocada pelos sedimentos no seu interior (Quadro 12).

Quadro 12 - Diferentes materiais e correspondentes velocidades máximas [9].

Material	Velocidade máxima (m/s)
PEAD (Polietileno de Alta Densidade)	5,0
PVC (Policloreto de vinila)	
PRFV (Polímero Reforçado com Fibra de Vidro)	3,0

3.8. Legislação no Brasil

Na legislação brasileira [N7] é exigido uma tensão mínima de arrastamento para o sistema urbano de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais. Como, em alguns dos países referidos anteriormente, se utiliza um critério de autolimpeza referente a sistemas urbanos. Para além da tensão mínima de arrastamento é imposta uma velocidade máxima para prevenir a erosão interna das tubagens [N8]. No Quadro 13 são apresentadas estas exigências.

Quadro 13 - Tensão mínima de arrastamento e velocidade máxima da legislação brasileira. [N7]

	Águas domésticas	Águas pluviais
Tensão mínima de arrastamento (Pa)	1,0	
Velocidade máxima (m/s)	5,0	

3.9. Legislação no Chile

No regulamento chileno [N10] não são referidos valores mínimos para a tensão de arrastamento, sendo os critérios de autolimpeza enunciados apenas referentes a velocidades mínimas. Estes valores são aplicados a sistemas urbanos, mas como já foi referido anteriormente podem ser utilizados também nos sistemas prediais.

As velocidades permitidas nas tubagens de águas domésticas e pluviais são indicadas no Quadro 14.

Quadro 14 - Critérios de autolimpeza na legislação chilena [N10].

	Águas domésticas	Águas pluviais
Velocidade mínima (m/s)	0,6	0,9
Velocidade máxima (m/s)	3,0	3,0

A velocidade máxima é limitada, como já foi referido anteriormente, por questões de ruído e durabilidade das tubagens, podendo o valor ser, em certos casos, superior, caso a localização e/ou o material da tubagem o permita.

3.10. Legislação na Austrália

Na legislação australiana [N11] são exigidos dois critérios de autolimpeza para as tubagens de águas residuais domésticas e pluviais, uma velocidade mínima de escoamento e uma tensão mínima de arrastamento. Como em alguns casos referidos anteriormente, estes valores são referentes a sistemas urbanos, podendo ser utilizados de igual forma em sistemas prediais. Estes critérios de autolimpeza encontram-se indicados no Quadro 15.

Quadro 15 - Critérios de autolimpeza na legislação Australiana [N11].

	Águas domésticas	Águas pluviais
Velocidade mínima (m/s)	0,6	
Velocidade máxima (m/s)	3,0	
Tensão de arrastamento mínima (pa)	1	

3.11. Resumo dos critérios de autolimpeza definidos legalmente nos países analisados

É possível afirmar que a maioria das velocidades máximas e mínimas dos diversos regulamentos analisados são semelhantes. A tensão de arrastamento é, no entanto, superior no caso dos países europeus.

No Quadro 16 e Quadro 17 é possível comparar os requisitos de autolimpeza dos sistemas de drenagem de águas residuais dos vários países analisados. Nos quadros foi feita uma distinção dos valores associados a sistemas prediais e a sistemas urbanos (extrapolados para sistemas prediais), onde os valores que se encontram a negrito são referentes à segunda situação. Nestes quadros

também se encontram representados os valores mínimos, médios e máximos de cada critério, com o objetivo de comparar com a legislação portuguesa atual.

Como já foi referido, a velocidade mínima é essencial para evitar a deposição de sedimentos. No caso das águas domésticas é importante que as matérias orgânicas não se depositem na tubagem, permitindo o seu transporte em suspensão, de forma a evitar bloqueios e a acumulação de gases tóxicos/corrosivos (como o sulfeto de hidrogénio), bem como, de agentes macrobióticos.

Outra razão pela qual existe a necessidade de uma velocidade mínima para o escoamento de águas domésticas, é a presença de gorduras nas águas, em particular nos esgotos oriundos das cozinhas. Caso não seja alcançado ou mantido uma velocidade mínima, ocorrerá a adesão destas gorduras à parede interior do tubo, diminuindo assim a capacidade e desempenho hidráulico do mesmo.

Quadro 16 - Critérios de autolimpeza para a drenagem de águas domésticas em diversos países.

País	Velocidade (m/s)		Tensão de arrastamento (Pa)
	mínima	máxima	mínima
Portugal	0,60	3,00	-
Espanha	0,60	3,00	-
R.U.	0,60	3,00	6,20
Alemanha	0,70	2,50	2,50
E.U.A.	0,60	4,60	2,00
Canada	0,60	3,00	-
México	0,60	2,50	-
Brasil	-	5,00	1,00
Chile	0,60	3,00	-
Austrália	0,60	3,00	1,00
Mínimos	0,60	2,50	1,00
Médias arredondadas	0,60	3,25	2,55
Máximos	0,70	5,00	6,20

Quadro 17 - Critérios de autolimpeza para a drenagem de águas pluviais em diversos países.

País	Velocidade (m/s)		Tensão de arrastamento (Pa)
	mínima	máxima	mínima
Portugal	0,90	3,00	-
Espanha	0,60	3,00	-
R.U.	0,75	6,00	6,20
Alemanha	0,70	2,50	2,50
E.U.A.	0,90	4,60	3,00
Canadá	0,80	6,00	-
México	0,60	3,00	-
Brasil	-	5,00	1,00
Chile	0,90	3,00	-
Austrália	0,60	3,00	1,00
Mínimos	0,60	2,50	1,00
Médias arredondadas	0,75	3,90	2,75
Máximos	0,90	6,00	6,20

Em relação às águas pluviais, é necessária a existência de uma velocidade mínima de escoamento para permitir a autolimpeza das tubagens, de forma a impedir a deposição de areias e permitir o seu transporte para o sítio desejado. Caso ocorra a deposição de areias pode ocorrer uma diminuição da capacidade e do desempenho hidráulico das tubagens.

Um aspeto importante no dimensionamento das tubagens de águas pluviais é o facto do intervalo entre picos de caudais ser maior do que no caso das domésticas e, possivelmente, com uma maior intensidade.

Tendo em conta tudo o que foi referido acima é importante mencionar que, em certos países, a velocidade mínima das águas pluviais é superior à das domésticas. Isto ocorre porque no caso das águas pluviais existe uma maior sedimentação devido ao maior intervalo de picos de caudal, sendo assim necessária uma velocidade superior para garantir a ressuspensão das partículas sólidas [10].

Por fim, analisando os vários regulamentos é possível constatar que nas águas residuais domésticas a velocidade mínima regulamentada da legislação portuguesa atual se encontra nos valores mínimos, não sendo possível uma diminuição desta. Nas águas residuais pluviais ocorre o contrário, onde a velocidade mínima exigida em Portugal é uma das mais conservativas, chegando a ser superior ao valor médio em 0,15m/s, sendo então possível que esta seja diminuída.

4. COMPARAÇÃO DAS VELOCIDADES DE ESCOAMENTO E TENSÕES DE ARRASTAMENTO

Neste capítulo serão comparados os vários critérios de autolimpeza exigidos nos países analisados. Nos cálculos considerou-se o uso de tubagens fabricadas em PVC e com o uso de diâmetros comerciais.

Este passo permite a comparação entre as diferentes velocidades e tensões mínimas dos vários regulamentos analisados, com o objetivo de identificar possíveis sugestões de alterações à legislação portuguesa atual. Para ser possível atingir isto foram concebidos múltiplos quadros com as velocidades de escoamento e tensões de arrastamento em função do diâmetro e inclinação das tubagens, de modo a perceber quais os critérios de autolimpeza mais conservativos.

Para ser mais fácil proceder à diferenciação das várias regulamentações foi definido uma escala de cores com vários tons de cinzento, correspondentes às velocidades mínimas, às velocidades máximas e às tensões mínimas de arrastamento dos diversos regulamentos.

Do Quadro 18 ao Quadro 20 são referentes aos regulamentos das águas residuais domésticas. E do Quadro 21 ao Quadro 23 são referentes aos regulamentos para as águas residuais pluviais.

Quadro 18 - Velocidades mínimas e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais domésticas.

Velocidade mínima (m/s)	Cor	Países
0,60		Portugal, Espanha, R.U., Canadá, E.U.A., México, Chile, Austrália
0,70		Alemanha, U.E.

Quadro 19 - Velocidades máximas e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais domésticas.

Velocidade máxima (m/s)	Cor	Países
2,50		Alemanha, México
3,00		Portugal, Espanha, R.U., Canadá, Chile, Austrália, U.E.
4,60		E.U.A.

Quadro 20 - Tensão mínima de arrastamento e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais domésticas.

Tensão mínima de arrastamento (Pa)	Cor	Países
1,00		Brasil, Austrália
2,00		E.U.A.
2,50		Alemanha
6,20		R.U.

Quadro 21 - Velocidades mínimas e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais pluviais.

Velocidade mínima (m/s)	Cor	Países
0,60		Espanha, México, Austrália
0,70		Alemanha, U.E.
0,75		R.U.
0,80		Canadá
0,90		Portugal, Chile, E.U.A.

Quadro 22 - Velocidades máximas e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais pluviais.

Velocidade máxima (m/s)	Cor	Países
2,50		Alemanha
3,00		Portugal, Espanha, México, Chile, Austrália, U.E.
4,60		E.U.A.
5,00		Brasil
6,00		R.U., Canadá

Quadro 23 - Tensão mínima de arrastamento e a sua respetiva escala de cor, para águas residuais pluviais.

Tensão mínima de arrastamento (Pa)	Cor	Países
1,00		Brasil, Austrália
2,50		Alemanha
3,00		E.U.A.
6,20		R.U.

4.1. Coletores de águas residuais domésticas

Começando pelos coletores de águas domésticos, fez-se o cálculo das várias velocidades de escoamento e tensões de arrastamento utilizando a equação (19) e a equação (15). Os valores obtidos são apresentados no Quadro 24 e Quadro 25.

$$V = K \times R_h^{2/3} \times i^{1/2} . \quad (19)$$

Pode-se constatar que a velocidade mínima permitida no regulamento português atual constitui um dos valores mais baixos em relação aos restantes regulamentos. Além disso, nos países onde existem os dois critérios de autolimpeza (velocidade e tensão mínima), o cumprimento da velocidade mínima de escoamento não significa que ocorra o cumprimento da tensão mínima de arrastamento. Por exemplo, no caso dos E.U.A. [N4], a sua velocidade mínima de escoamento é menos conservativa do que a sua tensão mínima, pois permite o recurso a menores inclinações.

Para finalizar, é importante referir o fato de a tensão mínima do Reino Unido, de 6,2 N/m² [7], ser bastante conservativa, impossibilitando o uso de muitas combinações de diâmetros e inclinações, não se adequando à velocidade mínima regulamentada que permitiria uma maior flexibilidade.

Quadro 24 - Velocidade de escoamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a meia secção em tubagem de PVC.

Velocidade de escoamento (m/s)			Inclinação (%)						
			1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Diâmetro (mm)	Prediais	40	0,43	0,53	0,61	0,69	0,75	0,81	0,87
		50	0,51	0,63	0,72	0,81	0,88	0,96	1,02
		63	0,60	0,74	0,85	0,95	1,04	1,13	1,20
		75	0,68	0,83	0,96	1,08	1,18	1,27	1,36
		90	0,77	0,95	1,09	1,22	1,34	1,45	1,55
		110	0,88	1,08	1,25	1,40	1,53	1,66	1,77
		125	0,96	1,18	1,36	1,52	1,67	1,80	1,93
		140	1,04	1,27	1,47	1,64	1,80	1,95	2,08
		160	1,14	1,39	1,61	1,80	1,97	2,13	2,27
		200	1,32	1,62	1,87	2,09	2,29	2,47	2,64
	Urbanas	250	1,53	1,88	2,17	2,42	2,65	2,87	3,06
		315	1,79	2,19	2,53	2,83	3,10	3,34	3,57
		400	2,10	2,57	2,96	3,31	3,63	3,92	4,19

Quadro 25 - Tensão de arrastamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a meia secção em tubagem de PVC.

Tensão de arrastamento (Pa)			Inclinação (%)						
			1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Diâmetro (mm)	Prediais	40	0,89	1,33	1,77	2,21	2,66	3,10	3,54
		50	1,13	1,70	2,26	2,83	3,39	3,96	4,52
		63	1,45	2,17	2,90	3,62	4,35	5,07	5,80
		75	1,74	2,61	3,49	4,36	5,23	6,10	6,97
		90	2,11	3,17	4,22	5,28	6,33	7,39	8,44
		110	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03	10,32
		125	2,93	4,40	5,87	7,33	8,80	10,26	11,73
		140	3,29	4,93	6,57	8,22	9,86	11,50	13,15
		160	3,75	5,63	7,51	9,39	11,26	13,14	15,02
		200	4,70	7,04	9,39	11,74	14,09	16,44	18,79
	Urbanas	250	5,88	8,82	11,76	14,69	17,63	20,57	23,51
		315	7,40	11,11	14,81	18,51	22,21	25,91	29,62
		400	9,40	14,10	18,81	23,51	28,21	32,91	37,61

4.2. Ramais de descarga de águas domésticas

Relativamente aos ramais de descarga de águas domésticas, as fórmulas de cálculo a aplicar são as mesmas que nos coletores domésticos. Apesar dos ramais de descarga poderem ser dimensionados, em Portugal [N1], para secção cheia, o raio hidráulico é de igual forma um quarto do diâmetro interno da tubagem, pelo que a diferença entre estes dois tipos de tubagens reside no diâmetro utilizado, o qual é menor para os ramais de descarga.

O Quadro 26 e o Quadro 27 representam as possíveis velocidades de escoamento e as respetivas tensões de arrastamento para escoamento gravítico e em secção cheia.

Quadro 26 - Velocidade de escoamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a secção cheia para tubagens de PVC.

Velocidade de escoamento (m/s)		Inclinação (%)						
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Diâmetro (mm)	40	0,43	0,53	0,61	0,69	0,75	0,81	0,87
	50	0,51	0,63	0,72	0,81	0,88	0,96	1,02
	63	0,60	0,74	0,85	0,95	1,04	1,13	1,20
	75	0,68	0,83	0,96	1,08	1,18	1,27	1,36
	90	0,77	0,95	1,09	1,22	1,34	1,45	1,55

Quadro 27 - Tensão de arrastamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a secção cheia para tubagens de PVC.

Tensão de arrastamento (Pa)		Inclinação (%)						
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Diâmetro (mm)	40	0,89	1,33	1,77	2,21	2,66	3,10	3,54
	50	1,13	1,70	2,26	2,83	3,39	3,96	4,52
	63	1,45	2,17	2,90	3,62	4,35	5,07	5,80
	75	1,74	2,61	3,49	4,36	5,23	6,10	6,97
	90	2,11	3,17	4,22	5,28	6,33	7,39	8,44

As observações retiradas para os ramais de descarga de águas domésticas são as mesmas que para o caso dos coletores. Mais uma vez, devido aos diâmetros utilizados serem menores, a tensão mínima de arrastamento exigida no Reino Unido de 6,2 N/m² [7] é mais restritiva, obrigando ao uso de inclinações elevadas.

4.3. Coletores de águas residuais pluviais

Relativamente aos coletores de águas residuais pluviais, as fórmulas de cálculo a utilizar são as mesmas que para os coletores domésticos. A única diferença entre os dois tipos de coletores está na inclinação mínima das tubagens pluviais (0,5% em Portugal [N1]) e no dimensionamento efetuado para secção cheia. Como já foi referido anteriormente, independente do dimensionamento ser em secção cheia ou meia secção, o raio hidráulico é de igual forma um quarto do diâmetro interno da tubagem.

No Quadro 28 encontram-se representadas as várias velocidades de escoamento obtidos tendo em conta o diâmetro e inclinação utilizados. No Quadro 29 apresentam-se os vários valores de tensões de arrastamento para diversos diâmetros e inclinações.

Quadro 28 - Velocidade de escoamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a secção cheia para tubagens de PVC.

Velocidade de escoamento (m/s)			Inclinação (%)							
			0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Diâmetro (mm)	Prediais	40	0,31	0,43	0,53	0,61	0,69	0,75	0,81	0,87
		50	0,36	0,51	0,63	0,72	0,81	0,88	0,96	1,02
		63	0,43	0,60	0,74	0,85	0,95	1,04	1,13	1,20
		75	0,48	0,68	0,83	0,96	1,08	1,18	1,27	1,36
		90	0,55	0,77	0,95	1,09	1,22	1,34	1,45	1,55
		110	0,63	0,88	1,08	1,25	1,40	1,53	1,66	1,77
		125	0,68	0,96	1,18	1,36	1,52	1,67	1,80	1,93
		140	0,74	1,04	1,27	1,47	1,64	1,80	1,95	2,08
		160	0,80	1,14	1,39	1,61	1,80	1,97	2,13	2,27
	200	0,93	1,32	1,62	1,87	2,09	2,29	2,47	2,64	
	Urbanas	250	1,08	1,53	1,88	2,17	2,42	2,65	2,87	3,06
		315	1,26	1,79	2,19	2,53	2,83	3,10	3,34	3,57
		400	1,48	2,10	2,57	2,96	3,31	3,63	3,92	4,19

Quadro 29 - Tensão de arrastamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a secção cheia para tubagens de PVC.

Tensão de arrastamento (Pa)			Inclinação (%)							
			0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Diâmetro (mm)	Prediais	40	0,44	0,89	1,33	1,77	2,21	2,66	3,10	3,54
		50	0,57	1,13	1,70	2,26	2,83	3,39	3,96	4,52
		63	0,72	1,45	2,17	2,90	3,62	4,35	5,07	5,80
		75	0,87	1,74	2,61	3,49	4,36	5,23	6,10	6,97
		90	1,06	2,11	3,17	4,22	5,28	6,33	7,39	8,44
		110	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03	10,32
		125	1,47	2,93	4,40	5,87	7,33	8,80	10,26	11,73
		140	1,64	3,29	4,93	6,57	8,22	9,86	11,50	13,15
		160	1,88	3,75	5,63	7,51	9,39	11,26	13,14	15,02
	200	2,35	4,70	7,04	9,39	11,74	14,09	16,44	18,79	
	Urbanas	250	2,94	5,88	8,82	11,76	14,69	17,63	20,57	23,51
		315	3,70	7,40	11,11	14,81	18,51	22,21	25,91	29,62
		400	4,70	9,40	14,10	18,81	23,51	28,21	32,91	37,61

No caso dos coletores das águas pluviais, como pode ser averiguado no Quadro 28 e no Quadro 29, a menor inclinação permitida (0,5%) dificilmente consegue cumprir a velocidade mínima de 0,9m/s do regulamento português [N1], enquanto que uma velocidade de 0,6m/s será mais fácil de obter. Isto ocorre devido ao facto de a velocidade mínima atual ser demasiado conservativa, podendo ser

diminuída para um valor semelhante à utilizada nos coletores domésticos (0,6m/s), permitindo o uso de menores inclinações.

Apesar de, nas águas pluviais ser permitida uma inclinação menor, continua a ocorrer o mesmo problema que nas águas domésticas, em que o cumprimento da velocidade mínima não implica o cumprimento imediato da tensão mínima, como por exemplo o caso dos E.U.A. [N4], existindo, assim, uma discrepância entre estes dois critérios de autolimpeza.

4.4. Caleiras de águas residuais pluviais

Por fim, relativamente às caleiras de águas residuais pluviais, o escoamento é feito com uma altura de superfície livre máxima de 0,35D em caleiras circulares. Tendo isto em consideração, a relação do raio hidráulico não será igual aos casos anteriores, sendo antes: $R_h = 0,19349D$; $A = 0,24498D^2$ [7]. Com o que foi referido anteriormente é possível obter a equação (20) para o cálculo da velocidade de escoamento, e a equação (21) para o cálculo da tensão de arrastamento, em função da inclinação e diâmetro utilizados.

$$V = K \times (0,19349 \times D)^{2/3} \times i^{1/2} ; \quad (20)$$

$$\tau = \gamma \times i \times 0,19349 \times D ; \quad (21)$$

Com as fórmulas acima é possível obter o Quadro 30 e o Quadro 31.

Foram consideradas caleiras em PVC a título ilustrativo uma vez que este material é pouco utilizado neste tipo de instalação devido à exposição solar.

Quadro 30 - Velocidade de escoamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a altura da lâmina líquida de 0,35D em caleiras em PVC.

Velocidade de escoamento		Inclinação (%)					
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Diâmetro (mm)	40	0,26	0,37	0,45	0,52	0,58	0,63
	50	0,30	0,43	0,53	0,61	0,68	0,75
	63	0,36	0,51	0,62	0,72	0,80	0,88
	75	0,41	0,57	0,70	0,81	0,91	0,99
	90	0,46	0,65	0,80	0,92	1,03	1,13
	110	0,53	0,75	0,91	1,05	1,18	1,29
	125	0,57	0,81	1,00	1,15	1,28	1,41

Relativamente a estes quadros é importante realçar que a velocidade mínima da legislação portuguesa é bastante conservativa. No Quadro 30 é possível constatar que a maioria dos valores são inferiores à velocidade regulamentada de 0,9 m/s. Nos países onde a velocidade mínima é inferior, por exemplo 0,6 m/s, existe uma maior flexibilidade no dimensionamento dos sistemas, permitindo uma maior variedade de diâmetros e inclinações. Além disso, é importante realçar que no Quadro 31 é perceptível que a tensão mínima de arrastamento da legislação britânica [7] é bastante conservativa e não se adequa à velocidade mínima regulamentada (0,75m/s), que corresponderia a uma tensão mínima bastante menor que o valor de 6,2 N/m².

Quadro 31 - Tensão de arrastamento em função do diâmetro e inclinação da tubagem com escoamento a altura da lâmina líquida de 0,35D em caleiras em PVC.

Tensão de arrastamento (Pa) para uma velocidade de 0,6 m/s		Inclinação (%)					
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Diâmetro (mm)	40	0,34	0,69	1,03	1,37	1,71	2,06
	50	0,44	0,88	1,31	1,75	2,19	2,63
	63	0,56	1,12	1,68	2,24	2,80	3,36
	75	0,67	1,35	2,02	2,70	3,37	4,05
	90	0,82	1,63	2,45	3,27	4,08	4,90
	110	1,00	2,00	3,00	3,99	4,99	5,99
	125	1,13	2,27	3,40	4,54	5,67	6,81

4.5. Discussão

Com o intuito de chegar a uma conclusão sobre os diferentes critérios de autolimpeza dos vários regulamentos analisaram-se os valores de escoamento e tensão de arrastamento para diferentes diâmetros e inclinações e fez-se a sua comparação com os valores limite regulamentados dos diferentes países.

Relativamente aos coletores e ramais de descarga de águas residuais domésticas é possível constatar no Quadro 24, Quadro 25, Quadro 26 e Quadro 27, que apesar das tubagens cumprirem as inclinações regulamentadas e os diâmetros comerciais (para tubagens de PVC), nem sempre é possível respeitar os valores mínimos dos critérios de autolimpeza. Além disso, como se pode verificar com as escalas de cores, o regulamento português já se encontra nos valores mínimos, não sendo muito restritivo, ao contrário, por exemplo, da legislação alemã [8], que nas águas residuais domésticas exige uma velocidade mínima superior, conduzindo a maiores inclinações.

No caso dos coletores de águas pluviais, as velocidades mínimas e máximas exigidas são semelhantes às dos coletores de águas domésticas, mas a inclinação mínima é diferente. Relativamente ao cumprimento da velocidade mínima de escoamento é possível verificar no Quadro 28 que a legislação portuguesa é das mais conservativas exigindo uma velocidade mínima de 0,9 m/s, sendo necessário o recurso a inclinações mais elevadas do que nos restantes países. Com isto em consideração, seria vantajoso a diminuição da velocidade mínima para 0,6m/s, o que permitiria o uso de menores inclinações e aumentaria a flexibilidade de dimensionamento.

Por fim, no caso das caleiras, o seu dimensionamento é elaborado de forma diferente dos restantes, devido às diferentes relações geométricas do raio hidráulico com o diâmetro da tubagem alterando assim as fórmulas a utilizar. Apesar disto, observa-se a mesma situação que nos coletores de águas pluviais, em que uma velocidade mínima de 0,9 m/s apresenta ser conservativa, obrigando à utilização de inclinações mais elevadas do que nos outros países. Como se pode verificar no Quadro 30, para ser possível cumprir a velocidade mínima é necessário ter no mínimo uma inclinação de 1,5%, enquanto nos restantes casos uma inclinação de 1,0% seria suficiente.

Com base nas observações acima pode-se concluir que relativamente ao sistema de drenagem predial de águas residuais domésticas o regulamento português já se encontra nos mínimos, não existindo necessidade de diminuir a velocidade mínima. No caso da drenagem de águas residuais pluviais a velocidade mínima exigida em Portugal (0,9 m/s) é, no entanto, bastante conservativa. Caso fosse adotada a velocidade mínima das águas domésticas (0,6 m/s), poderiam ser utilizadas menores inclinações e diâmetros nas tubagens de águas residuais, permitindo mais flexibilidade ao construtor e/ou ao projetista no dimensionamento do sistema e uma redução de custos.

5. METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO ADOTADA EM PROJETO DE REDES PREDIAIS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

Para avaliação do efeito da implementação das medidas de redução da velocidade de escoamento das redes prediais de drenagem de águas pluviais dos atuais 0,9 m/s regulamentados para 0,6 m/s foram considerados dois casos de estudo de edifícios de habitação. Os casos de estudo são comparados em termos do custo de instalação, de forma a ser possível avaliar o potencial de poupança pela eventual alteração regulamentar.

Na análise dos casos de estudos foram ainda considerados outras medidas de eventual poupança, como por exemplo, a retirada do diâmetro mínimo dos coletores prediais.

No presente capítulo será explicado como é feito o dimensionamento do sistema predial de drenagem de águas residuais e apresentados os diferentes critérios de autolimpeza utilizados, de forma a ser possível perceber as alterações, a nível monetário e laboral, que isto implicaria na operação de construção da rede predial de drenagem de águas residuais.

A análise orçamental dos dois casos de estudo é efetuada para diversos critérios de dimensionamento e autolimpeza:

A. Águas residuais domésticas:

- Tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa;
- Uso de ventilação secundária sempre que seja possível;
- Velocidade mínima igual a 0,6m/s;
- Velocidade mínima igual a 0,6m/s e sem diâmetro mínimo imposto nos coletores.

B. Águas residuais pluviais:

- Velocidade mínima igual a 0,9m/s;
- Velocidade mínima igual a 0,6m/s e diâmetro mínimo de 100mm nos coletores;
- Velocidade mínima igual a 0,6m/s e sem diâmetro mínimo imposto nos coletores.

Nas águas domésticas será realizado o dimensionamento do sistema de drenagem utilizando como critério uma velocidade mínima de escoamento de 0,6m/s, e uma tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa [7], com o intuito de verificar as diferenças entre estes dois critérios. Nas águas pluviais optou-se por diminuir a velocidade mínima de 0,9m/s para 0,6m/s, de forma a apurar se existe diminuição das inclinações necessárias e/ou poupança de custos. Em ambos os tipos de águas foi retirado o diâmetro mínimo dos coletores, de modo a analisar a sua influência no dimensionamento e custo do sistema de drenagem.

5.1. Dimensionamento para as águas domésticas

No sistema predial as águas residuais domésticas serão recolhidas a um nível igual ou superior ao do arruamento onde se encontra instalado o coletor público, pelo que a drenagem será feita

exclusivamente por ação da gravidade. A drenagem terá início nos ramais de descarga, que têm como função o transporte das águas provenientes dos aparelhos sanitários para os respectivos tubos de queda. Os tubos de queda têm como objetivos a recolha das águas dos pisos mais elevados, o seu encaminhamento para os coletores prediais e a ventilação primária da rede predial. Nos coletores prediais as águas residuais domésticas são encaminhadas para uma câmara de ramal de ligação para a rede pública através do ramal de ligação.

Antes de se poder proceder à análise dos vários casos de estudo é importante referenciar as formas de cálculo do dimensionamento dos diferentes tipos de canalizações e acessórios presentes no sistema predial de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais.

5.1.1. Caudais de descarga

Os caudais de descarga correspondem aos caudais descarregados por parte dos aparelhos sanitários para a rede de drenagem, cada um tendo as suas características particulares. Os caudais de descarga dos equipamentos sanitários utilizados para efeitos de cálculo estão representados no Quadro 32, que se segue [N1].

Quadro 32 - Caudais de descarga dos vários aparelhos sanitários

Aparelho	Caudal (l/min)
Bacia de retrete	90
Banheira	60
Bidé	30
Chuveiro	30
Lavatório	30
Máquina de lavar louça	60
Máquina de lavar roupa	60
Urinol de espaldar	90
Urinol suspenso	60
Lava-louça	30
Tanque de lavar roupa	60

5.1.2. Caudais de cálculo

Tendo em conta que a probabilidade de num mesmo edifício todos os aparelhos procederem a uma descarga simultânea é reduzida, os caudais que servem de base ao dimensionamento das tubagens, os caudais de cálculo, não são obtidos pelo somatório dos caudais de descarga, mas sim por este mesmo somatório afetado de um coeficiente de simultaneidade que expressa a probabilidade dessa ocorrência, aplicado sempre que para a tubagem confluem descargas de três ou mais dispositivos. Desta forma utilizou-se a equação (22) para a obtenção do caudal de cálculo [N1]:

$$Q_c = c_s \times Q_a ; \quad (22)$$

onde:

Q_c – caudal de cálculo;

c_s – coeficiente de simultaneidade;

Q_a – caudal acumulado.

Recorrendo a via gráfica do regulamento para o cálculo do coeficiente de simultaneidade, o dimensionamento do caudal de cálculo (l/min) do sistema de drenagem de águas residuais domésticas pode ser calculado através da equação (23) [N1]:

$$Q_c = 7,3497 \times Q_a^{0,5352} . \quad (23)$$

5.1.3. Ramais de descarga individuais e coletivos

Os ramais de descarga individuais podem ser dimensionados para um escoamento de secção cheia quando a distância do sifão à secção ventilada não ultrapasse o valor máximo admissível obtido pelo ábaco no Anexo A 1 [N1] (quando existe apenas sistema de ventilação primária), ou então no caso de existir um sistema de ventilação secundária completa.

As inclinações dos ramais de descarga terão de estar compreendidas entre os 10mm/m e os 40mm/m, como já foi referido anteriormente. Além disso é necessário que sejam cumpridos os vários critérios de autolimpeza descritos anteriormente ($V_{\min}=0,6\text{m/s}$, ou $\tau_{\min}=2,45\text{Pa}$).

De seguida o Quadro 33 [N1], apresenta os diâmetros mínimos permitidos para os ramais de descargas individuais.

Quadro 33 - Diâmetros mínimos dos ramais de descargas individuais [N1].

Aparelho	Diâmetro mínimo do ramal individual (mm)
Bacia de retrete	90
Banheira	40
Bidé	
Chuveiro	
Lavatório	
Máquina de lavar louça	50
Máquina de lavar roupa	
Urinol de espaldar	
Urinol suspenso	
Lava-louça	
Tanque de lavar roupa	75

Os ramais coletivos (não-individuais) deverão ser dimensionados para um escoamento nunca superior a meia secção e as suas inclinações terão de estar compreendidas no mesmo intervalo que dos individuais.

Os diâmetros destes ramais são obtidos através da fórmula de *Manning-Strickler*, representada anteriormente na Equação 3. Através desta fórmula o cálculo do diâmetro obtém-se através das equações (24) e (25) ($Q(\text{m}^3/\text{s})$, $K(\text{m}^{1/3}/\text{s}^{-1})$, $i(\text{m}/\text{m})$ e $D(\text{m})$) [7]:

- Para escoamento com a secção cheia (ramais de descarga individuais):

$$D = \frac{Q^{3/8}}{0,6459 \times K^{3/8} \times i^{3/16}} ; \quad (24)$$

- Para escoamento com meia secção (ramais de descarga coletivos):

$$D = \frac{Q^{3/8}}{0,4980 \times K^{3/8} \times i^{3/16}} \quad (25)$$

5.1.4. Tubos de Queda

Nos tubos de queda, o seu diâmetro não deve ser inferior ao maior dos diâmetros dos ramais que para ele confluem, com um mínimo de 50 mm, e tendo em consideração que os tubos de queda deverão ser constantes ao longo de todo o seu desenvolvimento.

Sabendo o diâmetro mínimo para os tubos de queda e o caudal de cálculo afluente a cada um, calculado através do somatório das descargas efetuadas por todos os aparelhos ao longo do edifício que desaguam em cada tubo, pode-se proceder a um pré-dimensionamento através da equação (26) [7], que se segue:

$$Q_c \leq 2,5D \Leftrightarrow D \geq \frac{Q_c}{2,5}, \quad (26)$$

onde:

Q_c – Caudal de cálculo (l/min);

D – Diâmetro interior do tubo de queda (mm).

A taxa de ocupação não deve exceder o valor de um terço em sistemas com ventilação secundária, devendo descer até um sétimo em sistemas sem ventilação secundária, de acordo com o Quadro 34 [N1].

Quadro 34 - Diâmetros dos tubos de queda e respetivas taxas de ocupação.

Diâmetro tubo de queda (mm)	Taxa de ocupação (t_s)
D = 50	1/3
50 < D < 75	1/4
75 < D < 100	1/5
100 < D < 125	1/6
D > 125	1/7

Com a taxa de ocupação definida, é possível calcular o diâmetro interior de cada tubo de queda, dado pela equação (27) [7]:

$$D_q = 4,4205 \times Q_c^{3/8} \times t_s^{-5/8}, \quad (27)$$

onde:

D_q – Diâmetro interior do tubo de queda (mm);

t_s – Taxa de ocupação.

5.1.5. Coletores Prediais

Os caudais de cálculo dos coletores prediais de drenagem de águas residuais são baseados nos caudais atribuídos aos aparelhos sanitários provenientes, respetivamente, dos tubos de queda. Para a determinação dos caudais de dimensionamento recorreu-se a fórmula já apresentada para o cálculo dos caudais de cálculo, que tem em consideração o coeficiente de simultaneidade.

Referente ao diâmetro mínimo, o estipulado para um coletor predial é 100 mm e deve ser sempre igual ou superior ao maior dos diâmetros das tubagens afluentes. A sua inclinação deve variar entre 10 e 40 mm/m, sendo o seu dimensionamento feito para um escoamento inferior ou igual a meia secção como já se referiu anteriormente.

Para o seu dimensionamento recorreu-se à fórmula de Manning-Strickler, equação (25), sendo necessário recorrer a iterações para o cálculo do diâmetro e inclinações a implementar, de forma a respeitar a velocidade mínima ou tensão mínima de arrastamento mencionadas de seguida.

5.1.6. Critérios de autolimpeza nos coletores domésticos

No dimensionamento dos coletores doméstico, é necessária a verificação da velocidade mínima de escoamento de 0,6 m/s, de forma a estar garantida a autolimpeza dos coletores. Nos diversos casos de estudo utilizou-se também como critério de autolimpeza, uma tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa, com o intuito de averiguar as diferenças entre estes dois critérios.

5.1.7. Coluna de ventilação secundária

A implementação de colunas de ventilação secundária é necessária em situações onde se verificam, simultaneamente, tubos de queda com comprimentos em altura superiores a 35 m, e com caudais superiores a 700 l/min, assim como quando existem ligações de mais de 3 bacias de retrete em bateria.

Os diâmetros das colunas de ventilação secundária foram calculados com recurso à seguinte fórmula [7]:

$$D_v = 0,3901 \times L_v^{0,187} \times D_q ,$$

sendo que:

D_v - Diâmetro da coluna de ventilação secundária (mm);

L_v - Comprimento do tubo de queda (m).

Para os dois casos de estudos, também foi feito um dimensionamento do sistema de drenagem de águas domésticas utilizando ventilação secundária sempre que possível, pretendendo possivelmente diminuir os diâmetros dos tubos de queda e assim poupar em custos materiais. Este dimensionamento e a sua análise orçamental encontram-se num capítulo mais à frente.

5.2. Dimensionamento para as águas pluviais

Referente ao sistema de drenagem de águas residuais pluviais, a recolha e drenagem das águas pluviais inicia-se na cobertura e terraço do edifício. As pendentes das coberturas e do terraço na cobertura encaminham a água até caleiras aí presentes. As varandas e terraços também apresentam

uma pente de forma a escoar a água até às caleiras aí presentes. Todas as caleiras apresentam uma inclinação que possibilita o encaminhamento da água até ralos de pinha. Estes ralos drenam a água para ramais de descarga e de seguida para tubos de queda, ou diretamente para tubos de queda, nos casos em que não existem ramais de descarga. Os tubos de queda encaminham as águas pluviais dos pisos mais elevados para os coletores prediais, que depois encaminham as águas pluviais para uma câmara de ramal de ligação e de seguida para a rede pública através do ramal de ligação.

5.2.1. Caudais de cálculo

Os caudais de cálculo de águas residuais pluviais foram obtidos através de curvas IDF (intensidade, duração e frequência). Estas fornecem os valores das médias das intensidades máximas de precipitação para as diferentes regiões pluviométricas. No Anexo A 2, é apresentado a distribuição geográfica das regiões A, B e C.

Estas curvas são dadas pela equação (28) que se segue [7]:

$$I = a \times t^b , \quad (28)$$

em que:

a e b - constantes dependentes da região pluviométrica e do período de retorno;

t - Duração da precipitação (min);

I - Intensidade de precipitação (mm/h).

As constantes **a** e **b** são obtidas por ajustamento das curvas aos valores dos registos. O Quadro 35 [7] refere os valores obtidos nos ajustamentos para diferentes períodos de retorno.

Quadro 35 - Valores dos parâmetros **a** e **b**

Período de retorno (anos)	Regiões pluviométricas					
	A		B		C	
	a	b	a	b	a	b
5	259,26	-0,562	207,41	-0,562	311,11	-0,562
10	290,68	-0,549	232,21	-0,549	348,82	-0,549
20	317,74	-0,538	254,19	-0,538	381,29	-0,538
50	394,54	-0,524	279,63	-0,524	419,45	-0,524
100	365,62	-0,508	292,50	-0,508	438,75	-0,508

Estabelecida a intensidade de precipitação, e através do **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** para a determinação do coeficiente de escoamento, o caudal de cálculo é determinado de acordo com a equação (29) [7]:

$$Q_d = C \times I \times A_c , \quad (29)$$

em que:

Q_d - Caudal de cálculo pluvial (l/h);

I - Intensidade de precipitação (l/min.m²);

C - Coeficiente de escoamento;

A_C - Área de contribuição (m²).

Note-se que o coeficiente de escoamento está relacionado com a absorção dos materiais no escoamento. Uma vez que estamos a trabalhar em superfícies impermeáveis (coberturas), C toma o valor unitário. A área de contribuição trata-se da área projetada horizontalmente ao longo da cobertura.

5.2.2. Pendentes e áreas de influência

A definição das áreas de contribuição correspondentes a cada aparelho de recolha de águas pluviais é condicionada pelo enchimento que é necessário efetuar nas lajes por forma a executar as pendentes e acomodar as caleiras, que também têm uma inclinação, ou os ralos de pavimento, que ficam embutidos no enchimento. As pendentes vão de 0,5% a 3%, e os enchimentos não devem ser muito superiores a 10 cm. É necessário também ter em atenção o facto de a altura da água não poder chegar à soleira das portas.

Tendo em conta estes pressupostos, e de modo a garantir velocidades mínimas de escoamento, foram definidas inclinações para todas as caleiras. As áreas de influência das caleiras foram determinadas tendo em conta a sua localização.

5.2.3. Caleiras de cobertura

Depois de determinados os caudais de cálculo, as caleiras podem ser dimensionadas segundo a fórmula de Manning-Strickler, considerando os pressupostos apresentadas anteriormente no Capítulo 4.4, que se pode observar de seguida também:

- Altura da lâmina líquida no interior das caleiras igual ou inferior a 7/10 da altura da sua secção transversal;
- Inclinação das caleiras igual ou superior 0,5%;
- $K_{PVC} = 120 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$;

O diâmetro de cálculo é obtido através da multiplicação da área de influência de cada caleira pela intensidade e pelo coeficiente de escoamento tal como referido em 5.2.1. E como foi referido anteriormente, as relações geométricas entre o raio hidráulico, o diâmetro interno do tubo e a área da secção molhada são diferentes, devido à altura da lamina líquida ser a seguinte:

$$h = \frac{7}{10} \times \left(\frac{D}{2}\right) \Leftrightarrow \frac{h}{D} = 0,35 \quad (30)$$

Seguidamente e recorrendo às relações geométricas: $\frac{A}{D^2} = 0,24498$; e $\frac{R}{D} = 0,19349$ obteve-se:

$$Q_c = K \times 0,24498 \times D^2 \times 0,19349^{2/3} \times D^{2/3} \times i^{1/2} \quad (31)$$

Resolvendo a equação em ordem ao diâmetro, obteve-se o diâmetro mínimo admissível, tendo sido escolhido a diâmetro nominal com diâmetro interior imediatamente superior a esse.

5.2.4. Critérios de autolimpeza nas caleiras

Após o dimensionamento descrito para obtenção do diâmetro das caleiras é necessário ainda verificar a velocidade mínima de escoamento de 0,9 m/s, de forma a garantir a autolimpeza da caleira, recorrendo-se à equação (20). Nos diversos casos de estudo este valor foi alterado para 0,6 m/s, de forma a verificar a sua influência no dimensionamento do diâmetro e inclinação das caleiras, e se é possível uma diminuição de custos.

5.2.5. Tubos de queda

O caudal de cálculo, já definido num ponto anterior, para cada área de influência, será agora para cada tubo de queda a contribuição de todas as caleiras que para ele convergem.

Os tubos de queda devem ter um diâmetro mínimo superior ao diâmetro dos ramais de descarga a que eles confluem, tendo, porém, o diâmetro mínimo regulamentar de 50mm.

Salienta-se que os diâmetros serão constantes ao longo de todo o comprimento dos tubos.

Para cálculo dos diâmetros recorreu-se à equação (32) [7]:

$$Q = \left(\alpha + \beta \times \frac{H}{D} \right) \times \pi \times D_q \times H \times \sqrt{2gh} , \quad (32)$$

em que:

H - Carga no tubo de queda (m);

g - Aceleração da gravidade (m/s²);

α - Igual a 0,453 para entrada em aresta viva; ou 0,578 para entrada cônica;

β - Igual a 0,350.

A equação (33), que é a resultante em ordem ao diâmetro do tubo de queda é a seguidamente apresentada:

$$D_q = \frac{Q}{\alpha \times \pi \times H \times \sqrt{2gH}} - \frac{\beta - H}{\alpha} . \quad (33)$$

Quanto à carga hidráulica no tubo de queda, esta depende do diâmetro da caleira ou coletor, que descarrega no tubo de queda, e também do respetivo caudal de descarga.

5.2.6. Coletores prediais

O caudal de cálculo de cada coletor predial é definido através da soma dos caudais de dimensionamento, já definidos, para os tubos de queda, com base na respetiva proveniência das descargas.

Os coletores prediais foram então dimensionados da mesma forma que os ramais de descarga seriam (através da fórmula de Manning-Strickler), seguindo as seguintes condições:

- Secção cheia;
- Inclinação mínima igual a 0,5% ;
- $K_{PVC} = 120 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$;
- Diâmetro mínimo dos coletores prediais de 100 mm (utiliza-se diâmetro nominal mínimo de 110 mm);
- Diâmetro dos coletores prediais superior ao dos tubos de queda e coletores, que para ele confluem;
- Secção do coletor predial igual ou superior segundo o escoamento.

De seguida, é calculado o diâmetro interior mínimo dos coletores prediais, utilizando a equação (24), e conseqüentemente escolhido o diâmetro nominal adequado aos respetivos coletores.

5.2.7. Critérios de autolimpeza nos coletores prediais pluviais

Após o dimensionamento descrito para obtenção do diâmetro dos coletores pluviais, é necessário ainda verificar a velocidade de escoamento mínima de 0,9 m/s, de forma a garantir a autolimpeza dos coletores, recorrendo-se à equação (19). Nos diversos casos de estudo este valor foi alterado para 0,6 m/s, bem como retirada a exigência de um diâmetro mínimo de 100mm, de forma a verificar a sua influência no dimensionamento das canalizações, e se existe possibilidade de uma diminuição de custos.

6. CASO DE ESTUDO 1

O edifício em estudo localiza-se numa zona antiga na cidade de Lisboa, nomeadamente na rua D. Estefânia. Este edifício é composto por 2 pisos enterrados e 8 acima do solo. Os dois pisos enterrados destinam-se a garagens, o piso térreo a comércio, o último piso a um espaço comum do condomínio e os restantes a habitação. No total existem 29 fogos: 5 fogos no primeiro piso até ao quinto piso e 2 fogos no sexto e sétimo piso.

Na Figura 6 é apresentada uma planta do piso tipo do edifício em estudo, e na Figura 7 o corte geométrico AB.

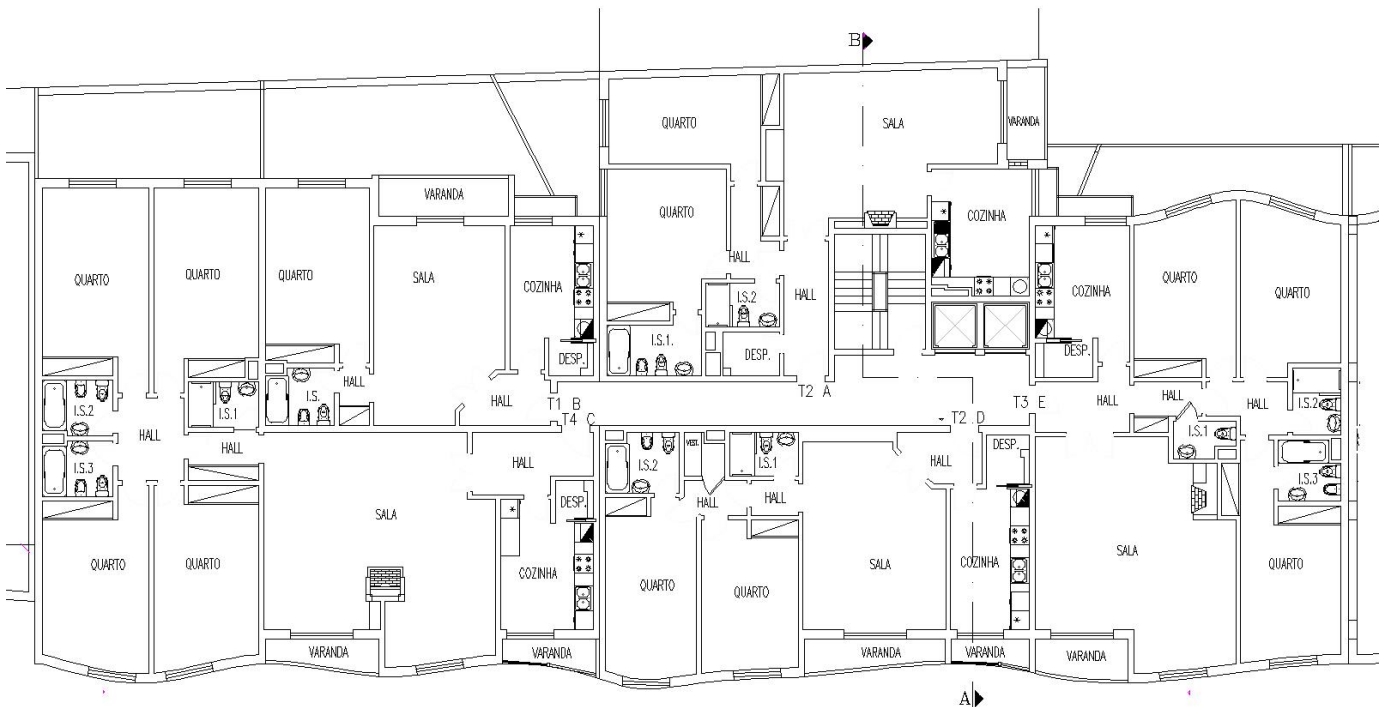


Figura 6 - Planta da arquitetura tipo do caso de estudo 1.

Para a realização do sistema de drenagem de águas residuais pluviais, o seu traçado e dimensionamento é realizado tendo em consideração que o edifício em causa se encontra numa região pluviométrica do tipo A, e com um período de retorno de 10 anos.

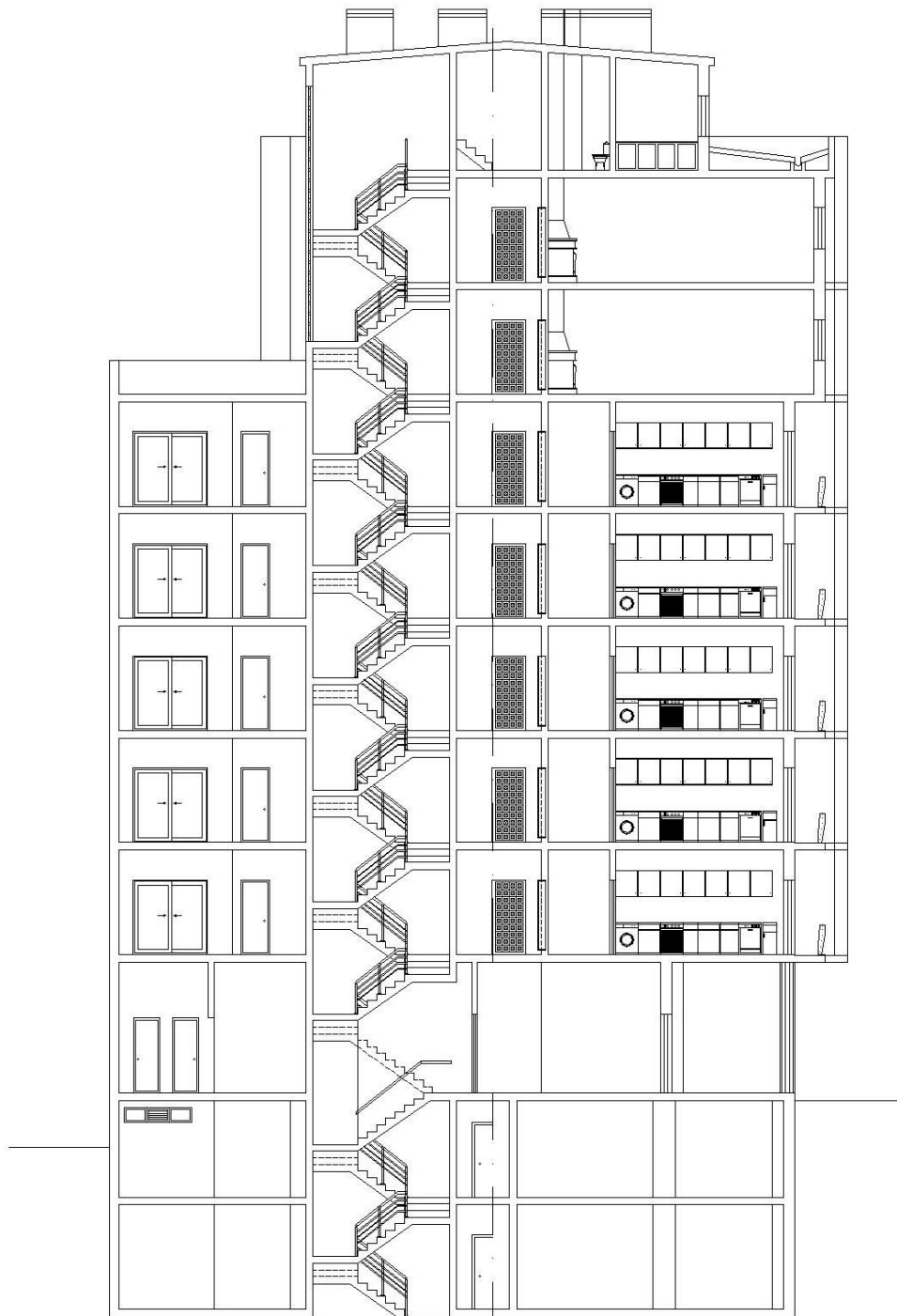
Os sistemas prediais serão responsáveis não só pela drenagem das águas residuais das instalações sanitárias e das cozinhas dos respectivos fogos, mas também das instalações da sala de condomínio e de todas as águas provenientes das chuvas que se acumulam tanto na cobertura, como nos terraços e varandas, assim como as águas de lavagem das garagens e freáticas.

Os tubos de queda que encaminham as águas residuais domésticas e pluviais dos pisos superiores estão ligados a coletores prediais colocados no teto do piso -1, que por gravidade, descarregam na câmara de ramal de ligação e de seguida ao ramal de ligação para a rede pública.

Foi assumido que no piso -1 existe apenas a parede de contenção, enquanto que no piso -2 existe uma parede dupla com caixa-de-ar. As águas freáticas que penetram na parede de contenção são recolhidas, pelos ralos aí presentes no caso do piso -1, ou pelas caleiras perimetrais que se encontram dentro da parede dupla no caso do piso -2.

As águas recolhidas através dos ralos de pavimento do piso -1 descarregam em coletores prediais que por sua vez descarregam em tubos de queda. Chegadas ao piso -2 são encaminhados para câmaras de inspeção enterradas neste piso. Os ralos de pavimento instalados na última cave são ligados diretamente a câmaras de inspeção enquanto que as caleiras das águas freáticas presentes no piso -2 descarregam em ralos e posteriormente a coletores prediais.

Os coletores prediais no piso -2 encaminham a água para uma câmara de inspeção que recebe toda a água a drenar. Por sua vez, esta câmara de inspeção está ligada a uma câmara de retenção de elementos pesados e de seguida a água é enviada para a câmara de bombagem e bombada para a câmara ramal de ligação presente no piso -1.



CORTE A - B

Figura 7 - Corte geométrico AB do edifício em estudo.

6.1. Ramais de descarga individuais e coletivos de águas domésticas

Como já foi referido anteriormente, o critério de autolimpeza para os sistemas de drenagem de águas domésticas (velocidade mínima de escoamento) já se encontra nos valores mínimos das diversas legislações analisadas, consequentemente esta componente do caso de estudo será dimensionada para uma velocidade mínima de 0,6m/s [N1] e uma tensão mínima de 2,45Pa [7], de forma a verificar as diferenças entre estes dois critérios de autolimpeza.

De seguida, no Quadro 36 apresentam-se alguns valores de diâmetros e inclinações necessários para cada critério. No Anexo B 1 estão representados os restantes ramais de descarga domésticos e no Anexo E o seu desenho no piso tipo.

Quadro 36 - Dimensionamento dos ramais de descarga, para diversos critérios de autolimpeza

Fogo		Ramal de descarga	$V_{\min}=0,6\text{m/s}$				$\tau_{\min}=2,45\text{Pa}$					
			i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
Piso tipo, Fogo B	WC	Ba-D1	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92
		Bd-D1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
		Br-D1	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95
		Lv-D1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
	Cozinha	MI-D2	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92
		Mr-D2	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92
		2*LL-D2	20	40,15	50	1,97	0,79	40	35,3	50	3,46	1,02
Piso tipo, Fogo C	WC1	Lv-D3	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
		Br-D3	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95
		Ba-D3	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92
	WC2	Lv-D4	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
		Br-D4	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95
		Bd-CR1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
		Ba-CR1	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92
	CR1-D4	10	66,58	75	1,63	0,78	20	58,5	75	2,86	1,01	
	WC3	Lv-D5	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
		Br-D5	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95
		Bd-CR2	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
		Ba-CR2	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92
		Cr2-D5	10	66,58	75	1,63	0,78	20	58,5	75	2,86	1,01
	Cozinha	MI-D6	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92
		Mr-D6	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92
2*LL-D6		10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	

Como se pode constatar no quadro anterior, o uso de uma velocidade mínima (de 0,6m/s) é menos conservativo que o de uma tensão mínima de 2,45Pa, sendo as inclinações implementadas para o

critério da velocidade menores que para o da tensão. Apesar dos diâmetros mínimos calculados serem superiores para o critério da velocidade mínima, não existem diferenças entre ambos os casos nos diâmetros nominais utilizados. Na análise orçamental serão analisados mais detalhadamente os custos dos ramais de descarga, de forma a constatar as diferenças de custo entre os dois critérios de autolimpeza.

6.2. Tubos de queda domésticos

No dimensionamento dos tubos de queda domésticos foram considerados duas situações: o uso de colunas de ventilação apenas quando necessário e o seu uso sempre que seja possível a sua instalação, com o objetivo de tentar reduzir o diâmetro dos tubos de queda. No Quadro 37 apresentam-se alguns dos tubos de queda dimensionados, e no Anexo B 3 os restantes.

Quadro 37 - Dimensionamento dos tubos de queda, com e sem ventilação secundária

Tubo de queda	Ventilação secundária sempre que possível	Ventilação secundária apenas quando necessária
	Diâmetro (mm)	
D1	140	140
D2	110	110
D3	125	125
D4	125	125
D5	125	125
D6	125	125
D7	160	160
D8	125	140
D9	140	140
D10	125	125
D11	140	140
D12	200	200

Com o uso de ventilação secundária sempre que possível ocorreu a redução do diâmetro de apenas um tubo de queda. Na análise orçamental será averiguado se o uso de ventilação secundária sempre que possível é vantajoso monetariamente em comparação com o método atual.

6.3. Coletores Prediais de águas domésticas

Como nos ramais de descarga, os coletores prediais foram dimensionados para dois critérios de autolimpeza: uma velocidade mínima de 0,6m/s e uma tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa. Além destes dois critérios, foi também retirado a exigência de um diâmetro mínimo de 100mm.

No Quadro 38 e no Quadro 39 encontram-se representados alguns dos coletores dimensionados neste caso de estudo. E os restantes no Anexo B 2.

O efeito da alteração do critério de autolimpeza nos coletores prediais domésticos, é idêntico ao dos ramais de descarga. Existindo uma diminuição das inclinações necessárias caso se utilize o critério da velocidade mínima, mas sem diferenças nos diâmetros nominais utilizados. Apenas ocorrem alterações dos diâmetros quando é retirada a condição de um diâmetro mínimo, como se pode comprovar no Quadro 39.

Mais à frente, na análise orçamental serão revistos os custos de instalação para os vários critérios de dimensionamento, e analisadas as diferenças entre estes.

Quadro 38 - Dimensionamento dos coletores domésticos, para diversos critérios de autolimpeza

Coletor	$\tau_{\min}=2,45\text{Pa}$ e $D_{\min.}=100\text{mm}$					$V_{\min}=0,6\text{m/s}$ e $D_{\min.}=100\text{mm}$				
	i (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
C1	10	109,01	140	2,64	1,08	10	109,01	140	2,64	1,08
C2	10	105,69	110	2,59	1,06	10	105,69	110	2,59	1,06
C3	10	105,69	125	2,58	1,06	10	105,69	125	2,58	1,06
C4	10	125,28	140	3,06	1,19	10	125,28	140	3,06	1,19
C5	10	134,58	160	3,28	1,25	10	134,58	160	3,28	1,25
C6	10	142,93	160	3,50	1,30	10	142,93	160	3,50	1,30
C7	15	73,14	110	2,61	1,00	10	78,92	110	1,89	0,86
C8	15	73,14	110	2,61	1,00	10	78,92	110	1,89	0,86
C9	15	84,06	110	3,05	1,11	10	90,70	110	2,21	0,96
C10	10	145,79	160	3,57	1,32	10	145,79	160	3,57	1,32

Quadro 39 - Dimensionamento dos coletores domésticos, para diversos critérios de autolimpeza

Coletor	$V_{\min}=0,6\text{m/s}$ e $D_{\min.}=100\text{mm}$					$V_{\min}=0,6\text{m/s}$ e sem $D_{\min.}$				
	i (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
C1	10	109,01	140	2,64	1,08	10	109,01	140	2,64	1,08
C2	10	105,69	110	2,59	1,06	10	105,69	110	2,59	1,06
C3	10	105,69	125	2,58	1,06	10	105,69	125	2,58	1,06
C4	10	125,28	140	3,06	1,19	10	125,28	140	3,06	1,19
C5	10	134,58	160	3,28	1,25	10	134,58	160	3,28	1,25
C6	10	142,93	160	3,50	1,30	10	142,93	160	3,50	1,30
C7	10	78,92	110	1,89	0,86	10	78,92	90	1,93	0,87
C8	10	78,92	110	1,89	0,86	10	78,92	90	1,93	0,87
C9	10	90,70	110	2,21	0,96	10	90,70	110	2,21	0,96
C10	10	145,79	160	3,57	1,32	10	145,79	160	3,57	1,32

6.4. Drenagem de águas pluviais

Tendo em conta a localização do edifício (Lisboa, Zona A) e um período de retorno de 10 anos, obtém-se uma intensidade de precipitação de 120,14 mm/h como se pode constatar no Quadro 40.

Com os dados do Quadro 40 é possível se proceder ao cálculo do caudal escoado respetivo a cada caleira, e assim ao seu dimensionamento.

Quadro 40 - Critérios de dimensionamento

Região pluviométrica	A
Período de retorno, T (anos)	10
Parâmetro a	290,68
Parâmetro b	-0,549
Duração t (min)	5
Intensidade de precipitação I (mm/h)	120,14
Coefficiente de escoamento	1

6.5. Caleiras pluviais

No caso do sistema de drenagem de águas pluviais, o seu dimensionamento foi feito para dois critérios de autolimpeza: uma velocidade mínima de 0,9m/s, que se encontra no regulamento português [N1]; e uma de 0,6m/s, que se refere ao valor mínimo dos diversos regulamentos analisados.

No Quadro 41 é possível constatar os valores de algumas das caleiras dimensionadas para este caso de estudo referentes aos dois critérios de autolimpeza. O dimensionamento das restantes apresenta-se no Anexo B 6.

Como se pode aferir no Quadro 41, a diminuição da velocidade mínima foi bem-sucedida na redução das inclinações necessárias, mas existe um aumento do diâmetro de várias caleiras de forma a compensar a menor velocidade de escoamento. Ou seja, no caso das caleiras pluviais, o uso de uma velocidade mínima menor não é benéfico a nível monetário, tendo apenas a vantagem da possibilidade de serem utilizadas menores inclinações. Posteriormente isto será visto com mais detalhe na análise orçamental.

Quadro 41 - Dimensionamento das caleiras pluviais, para diversos critérios de autolimpeza

Caleira	V min = 0,9 m/s					V min = 0,6 m/s				
	i (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
Ca1	30	95,9 7	110	4,77	1,00	10	117,93	125	1,98	0,67
Ca2	30	81,5 9	90	4,08	0,90	20	88,04	110	2,88	0,76
Ca3	30	91,4 2	110	4,51	0,96	15	104,11	110	2,62	0,75
Ca4	30	90,3 5	110	4,45	0,95	15	102,89	110	2,59	0,75
Ca5	30	84,0 8	90	4,22	0,92	15	95,75	110	2,38	0,71
Ca6	30	84,0 8	90	4,22	0,92	15	95,75	110	2,38	0,71
Ca7	30	97,4 1	110	4,86	1,01	15	110,93	125	2,77	0,78

6.6. Ramais de descarga individuais e coletivos de águas pluviais

Não se considerou a utilização de ramais de descarga tendo sido dispensados de cálculo todos os referentes aos pisos elevados pois são de comprimento muito pequeno, sendo adotados com diâmetros iguais aos dos tubos de queda a que eles confluem.

6.7. Tubos de queda de águas pluviais

Referente aos tubos de queda pluviais não foram feitas modificações aos seus critérios de dimensionamento. Apesar disso, existem alterações nos seus diâmetros ao ser retirado o diâmetro mínimo dos coletores pluviais, como se pode comprovar no Anexo B 5. Estas alterações de diâmetros ocorrem nos tubos de queda pluviais que conectam os coletores suspensos no teto da subcave (piso - 2), aos enterrados na subcave. Em seguida na análise orçamental, será analisado a alteração nos custos causada por estas diferenças de diâmetros.

6.8. Coletores prediais pluviais

Nos coletores pluviais além de ter sido feito uma diminuição da velocidade mínima de escoamento foi ainda retirada a restrição de um diâmetro mínimo de 100mm. No Quadro 42 e no Quadro 43 encontram-se representados alguns dos coletores dimensionados neste caso de estudo, para os diferentes critérios de dimensionamento e autolimpeza. Os restantes coletores estão apresentados no Anexo B 4.

Quadro 42 - Dimensionamento dos coletores pluviais, para diversos critérios de autolimpeza

Coletor	$V_{\min}=0,9\text{m/s}$ e $D_{\min}=100\text{mm}$					$V_{\min}=0,6\text{m/s}$ e $D_{\min}=100\text{mm}$				
	I (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	I (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
CP1	10	65,1	110	2,04	0,91	5	74,15	110	1,17	0,71
CP2	15	55,9	110	2,59	0,99	5	68,77	110	1,08	0,67
CP3	10	98,8	110	3,06	1,19	5	112,5	125	1,74	0,92
CP4	10	66,6	110	2,10	0,92	5	75,92	110	1,20	0,72
CP5	10	110,	125	3,45	1,29	5	125,9	140	1,95	0,99
CP6	40	25,1	110	2,68	0,86	15	30,17	110	1,25	0,61
CP7	10	112,	125	3,48	1,30	5	127,7	140	1,97	1,00

Quadro 43 - Dimensionamento dos coletores pluviais, para diversos critérios de autolimpeza

Coletor	$V_{\min}=0,6\text{m/s}$ e $D_{\min}=100\text{mm}$					$V_{\min}=0,6\text{ m/s}$ e sem D_{\min} .				
	I (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	I (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
CP1	5	74,1	110	1,17	0,71	5	74,15	90	1,17	0,70
CP2	5	68,7	110	1,08	0,67	5	68,77	75	1,05	0,66
CP3	5	112,	125	1,74	0,92	5	112,5	125	1,74	0,92
CP4	5	75,9	110	1,20	0,72	5	75,92	90	1,20	0,71
CP5	5	125,	140	1,95	0,99	5	125,9	140	1,95	0,99
CP6	15	30,1	110	1,25	0,61	15	30,17	75	1,35	0,64
CP7	5	127,	140	1,97	1,00	5	127,7	140	1,97	1,00

A diminuição da velocidade mínima exigida permitiu uma redução das inclinações necessárias como se pode constatar no Quadro 42, no entanto não teve o mesmo efeito em alguns diâmetros, existindo o aumento do diâmetro de alguns coletores. Caso se retire a exigência de um diâmetro mínimo de 100mm existe uma redução de alguns dos diâmetros dos coletores como demonstra o Quadro 43.

As alterações no custo do sistema de drenagem pluvial serão verificadas mais à frente na análise orçamental.

6.9. Análise orçamental

A análise orçamental deste caso de estudo foi dividida pelos dois tipos de águas residuais presentes no sistema de drenagem predial: as águas residuais domésticas e as pluviais. Esta divisão foi feita devido a cada tipo de água residual ter diferentes critérios de autolimpeza.

Os valores dos materiais e da mão-de-obra necessários para realizar a instalação do sistema de drenagem predial de águas residuais foram retirados de uma página da internet com a capacidade de calcular o custo do projeto bastante aproximado ao real [1] e através da consulta de alguns fornecedores de materiais [12], [13].

Foi assumido que os custos de manutenção serão idênticos para ambos os casos de estudo, pelo que não se justifica a elaboração de uma análise económica num determinado horizonte temporal.

No Anexo D estão apresentados os quadros com os vários valores de custos de instalação e material, associado a cada diâmetro e tipos de tubagem.

6.9.1. Águas residuais domésticas

A componente de águas residuais domésticas da rede predial de drenagem divide-se em 3 elementos distintos: os ramais de descarga, os Tubos de queda e os coletores prediais. Os seus custos estão representados no Anexo B, e a análise dos seus custos totais de seguida:

- Ramais de descarga:

Tal como foi referido anteriormente, no caso dos ramais de descarga o uso de uma velocidade mínima de 0,6m/s comparativamente a uma tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa origina um aumento do diâmetro mínimo calculado, mas com um custo total aproximadamente igual. Os custos totais dos ramais de descarga podem ser consultados no quadro que se segue:

Quadro 44 - Custos dos ramais de descarga domésticos.

	$\tau_{\min}=2,45 \text{ Pa}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s}$
Custo (€)	4705,85€	4712,44€

É possível verificar que a diferença do custo total dos dois critérios de autolimpeza é desprezável. Com isto em consideração é possível admitir que será mais vantajoso o uso de velocidade mínima (de 0,6 m/s) como critério de autolimpeza devido a permitir uma maior flexibilidade ao projetista na escolha das inclinações das tubagens, sem que exista um aumento do custo notório.

- Tubos de queda:

Nos tubos de queda, o seu dimensionamento foi realizado com o uso de ventilação secundária de dois modos: sempre que a sua instalação seja possível, ou apenas quando seja necessária/obrigatória. O intuito disto foi verificar se o acréscimo de custo associado ao uso de uma coluna de ventilação secundária, compensaria a possível poupança na diminuição do diâmetro do respetivo tubo de queda. O custo total destes, apresentam-se seguidamente:

Quadro 45 - Custos dos tubos de queda domésticos.

Custo (€)	Ventilação secundária apenas quando necessária		Ventilação secundária sempre que possível	
	Tubos de queda	Colunas de ventilação	Tubos de queda	Colunas de ventilação
	13887,60 €	1369,44€	13792,50€	4684,62€

Com o uso de colunas de ventilação secundária sempre que possível existe um acréscimo substancial do custo desta parcela, que não é equilibrado pela diminuição do custo dos tubos de queda. Tornando inviável a aplicação desta medida no dimensionamento dos tubos de queda.

- Coletores prediais:

Por fim, nos coletores prediais o seu dimensionamento foi feito de um modo semelhante aos ramais de descarga, utilizando dois critérios de autolimpeza: uma tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa e uma velocidade mínima de escoamento de 0,6m/s. Além disso, foi também feito um dimensionamento com o critério da velocidade mínima e sem a obrigação de um diâmetro mínimo de 100mm.

Os custos totais dos coletores para os três dimensionamentos encontram-se representados no quadro seguinte:

Quadro 46 - Custos dos coletores prediais domésticos.

Custo (€)	$\tau_{\min}=2,45 \text{ Pa e}$ $D_{\min}=100\text{mm}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s e}$ $D_{\min}=100\text{mm}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s e sem}$ D_{\min}
	3518,16€	3518,16€	3497,31€

Ao utilizar como critério de autolimpeza a velocidade mínima foi possível diminuir as inclinações necessárias das tubagens e analisando o quadro anterior é possível constatar que não existiu qualquer variação dos custos.

Caso o dimensionamento dos coletores seja executado sem um diâmetro mínimo existe uma redução de custos, mas numa quantidade considerada desprezável.

6.9.2. Águas residuais pluviais

Como a componente das águas residuais domésticas, as águas residuais pluviais dividem-se também em 3 elementos a dimensionar: Caleiras, Tubos de queda e Coletores prediais. Os seus custos estão representados no Anexo B, e a sua análise de seguida:

- Caleiras:

Nas caleiras foram utilizados dois critérios de autolimpeza para o seu dimensionamento: uma velocidade mínima de 0,9 m/s e uma de 0,6 m/s. Os custos totais destas encontram-se de seguida.

Quadro 47 - Custos das caleiras pluviais.

Custo (€)	$V_{\min}=0,9 \text{ m/s}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s}$
	2358,92€	2400,19€

O uso de uma velocidade mínima de 0,6 m/s originou um aumento desprezável no custo total das caleiras, tornando esta alteração apenas útil na diminuição das inclinações necessárias.

- Tubos de queda:

Nos tubos de queda de águas residuais pluviais o seu dimensionamento foi realizado de forma regular sem terem sido feitas alterações aos seus critérios de dimensionamento. Apesar disso, existe uma diferença de custos ao ser retirado o diâmetro mínimo dos coletores pluviais devido à diminuição do diâmetro dos tubos de queda que unem os coletores pluviais do piso -1 aos do piso -2. Os custos totais dos tubos de queda para as duas situações estão representados de seguida:

Quadro 48 - Custos dos tubos de queda pluviais.

	Coletores pluviais com $D_{min}=100mm$	Coletores pluviais sem D_{min}
Custo (€)	4976,57€	4786,85€

- Coletores prediais:

Por fim, como nas caleiras, os coletores prediais pluviais foram dimensionados para dois critérios de autolimpeza: uma velocidade mínima de escoamento de 0,9m/s e uma velocidade de 0,6m/s. Além disso foi retirado a imposição de um diâmetro mínimo de 100mm nos coletores. No quadro que se segue, apresentam-se os custos associados aos diferentes critérios utilizados:

Quadro 49 - Custos dos coletores prediais pluviais.

	$V_{min}=0,9$ m/s e $D_{min}=100mm$	$V_{min}=0,6$ m/s e $D_{min}=100mm$	$V_{min}=0,6$ m/s e sem D_{min}
Custo (€)	5923,22€	6136,64€	4862,91€

A alteração da velocidade mínima de escoamento originou um pequeno aumento no custo total dos coletores prediais, mas considerado desprezável tendo em conta o seu custo total. A remoção do diâmetro mínimo foi a única alteração que originou uma diminuição do custo total, devido à redução dos diâmetros dos coletores no teto e pavimento do piso -2. Caso se utilize uma menor velocidade mínima sem a imposição de um diâmetro mínimo para os coletores prediais é possível que se obtenha uma diminuição de custos e ao mesmo tempo beneficiar de uma maior flexibilidade nas inclinações necessárias.

6.9.3. Análise dos custos totais

Através da análise orçamental deste caso de estudo é possível verificar se as medidas propostas para o regulamento português são eficazes na redução de custos. No Quadro 50 e no Quadro 51, apresentam-se os custos totais dos dois tipos de sistema de drenagem de águas residuais, doméstico e pluvial.

Quadro 50 - Custo total do sistema de drenagem de águas domésticas.

	$\tau_{min}=2,45$ Pa e $D_{min}=100mm$	$V_{min}=0,6$ m/s e $D_{min}=100mm$	$V_{min}=0,6$ m/s e sem D_{min}	$V_{min}=0,6$ m/s, $D_{min}=100mm$ e ventilação secundária sempre que possível
Custo Total (€)	26500,92€	26507,51€	26486,66€	29727,59€

Quadro 51 - Custo total do sistema de drenagem de águas pluviais.

	$V_{min}=0,9$ m/s e $D_{min}=100mm$	$V_{min}=0,6$ m/s e $D_{min}=100mm$	$V_{min}=0,6$ m/s e sem D_{min}
Custo Total (€)	28520,01€	28774,20€	27311,25€

No sistema de drenagem de águas domésticas o uso de uma velocidade mínima nos ramais de descarga e coletores prediais, em lugar de uma tensão mínima de arrastamento possibilitou o uso de menores inclinações nas tubagens sem qualquer acréscimo de custo, possibilitando assim uma maior flexibilidade ao projetista e uma maior economia de espaço. Em relação ao diâmetro mínimo nos coletores domésticos, caso este seja retirado existe uma diminuição dos custos, mas considerada desprezável tendo em conta o custo total dos coletores. Nos tubos de queda domésticos o uso de um maior número de colunas de ventilação não é vantajoso monetariamente nem a nível técnico devido a ser necessário um espaço maior nas courettes, tornando esta alternativa inviável neste caso de estudo.

Referente ao sistema de drenagem das águas pluviais, a diminuição da velocidade mínima exigida teve um impacto negativo no custo, mas considerado desprezável, sendo a sua maior influência na diminuição das inclinações das caleiras e dos coletores pluviais permitindo uma maior flexibilidade ao projetista na conceção do sistema de drenagem pluvial. Nos coletores pluviais ao ser retirado o diâmetro mínimo, foi possível obter uma redução dos custos, mas uma redução reduzida. Caso seja diminuída a velocidade mínima de escoamento e retirada a imposição de um diâmetro mínimo nos coletores pluviais será possível beneficiar de uma maior flexibilidade de dimensionamento e ao mesmo tempo de uma pequena redução de custos.

7. CASO DE ESTUDO 2

O edifício do caso de estudo 2 é semelhante ao anterior e tem como objetivo certificar as conclusões do caso de estudo 1. Situa-se em Lisboa, na rua prof. Dias Amado. Este edifício é composto por 2 pisos enterrados e 7 acima do solo. Os dois pisos enterrados destinam-se a garagens, o último piso a um espaço comum do condomínio para arrecadação, e os restantes a habitação. No total existem 12 fogos: 2 fogos por piso.

Na Figura 8 é apresentada uma planta do piso tipo do edifício em estudo, e na Figura 9 o corte geométrico AB.

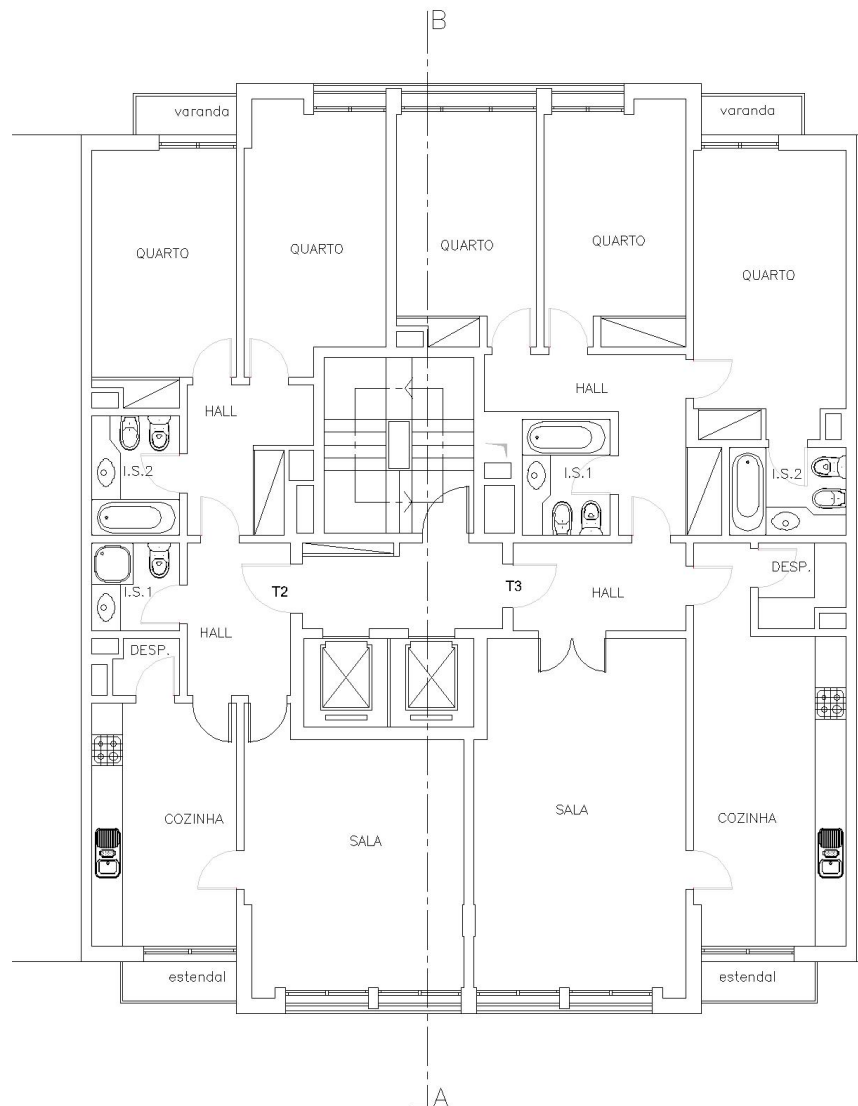


Figura 8 - Planta da arquitetura tipo do caso de estudo 2.

No sistema de drenagem de águas residuais pluviais o seu traçado e dimensionamento foi feito tendo em consideração que o edifício em causa se encontra numa região pluviométrica do tipo A e com um período de retorno de 10 anos.

Os tubos de queda domésticos e pluviais encaminham as águas residuais para os coletores prediais colocados no teto do piso -1, que por gravidade descarregam na câmara de ramal de ligação e de seguida ao ramal de ligação para a rede pública.

Foi assumido que no piso -1 e -2 existe apenas uma parede de contenção. Sendo que as águas freáticas que penetram na parede de contenção são recolhidas pelos ralos presentes no respetivo piso subterrâneo.

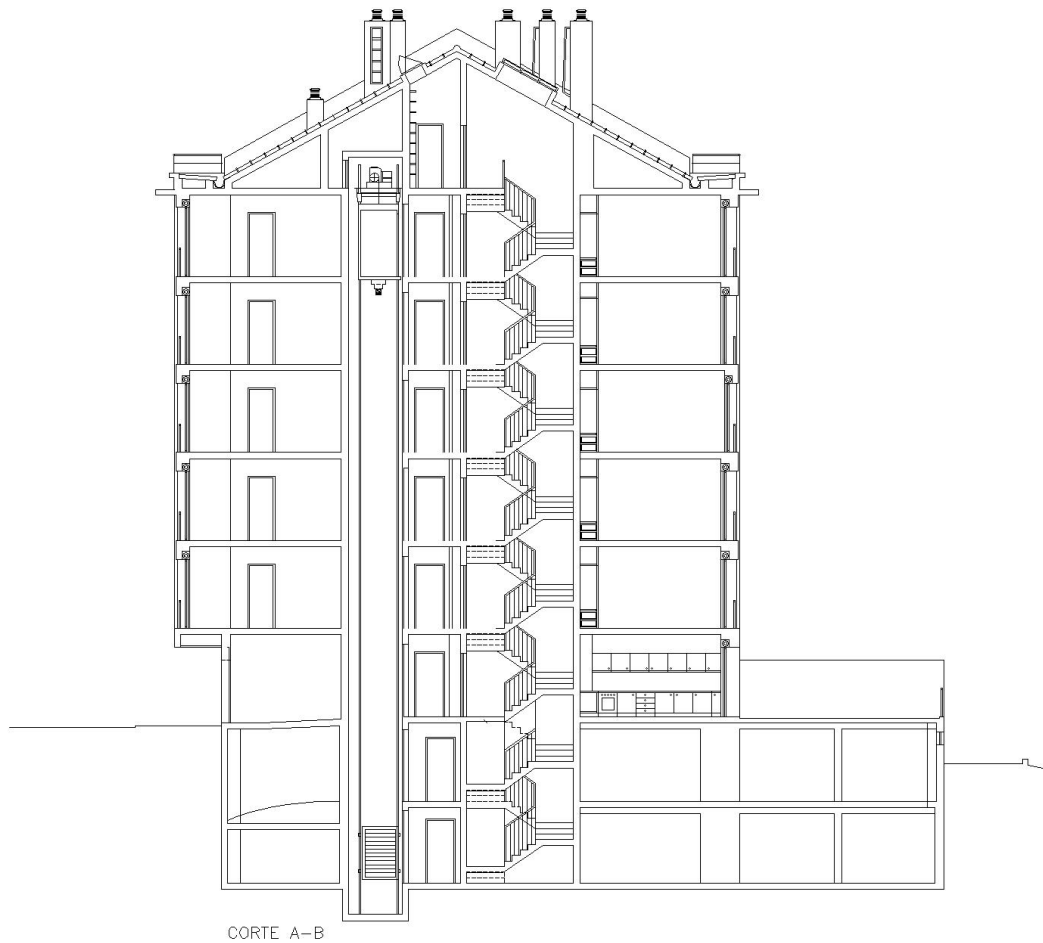


Figura 9 - Corte geométrico AB do edifício em estudo.

As águas recolhidas através dos ralos de pavimento do piso -1 descarregam em coletores prediais que por sua vez descarregam em tubos de queda. Chegadas ao piso -2, são encaminhadas através de coletores prediais para câmaras de inspeção enterradas neste piso. Os ralos de pavimento instalados na subcave (piso -2) encontram-se ligados diretamente a câmaras de inspeção.

No piso -2, os coletores prediais encaminham a água para uma câmara de inspeção que recebe toda a água. Esta encontra-se ligada a uma câmara de retenção de elementos pesados, onde de seguida a água é enviada para a câmara de bombagem e elevada para a câmara ramal de ligação presente no piso -1.

7.1. Ramais de descarga individuais e coletivos de águas domésticas

Como no caso de estudo 1, foram utilizados dois critérios de autolimpeza no sistema de águas residuais domésticas: uma velocidade mínima de escoamento de 0,6m/s e uma tensão mínima de 2,45Pa.

O dimensionamento de alguns ramais de descarga domésticos está apresentado no Quadro 52 e os restantes no Anexo C 1. O desenho destes na rede encontram-se no Anexo E.

Quadro 52 - Dimensionamento dos ramais de descarga, para diversos critérios de autolimpeza

Fogo		Ramal de descarga	V _{min} =0,6m/s					τ _{min} =2,45Pa				
			i (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
Piso tipo, T2	Cozinha	LL-D2	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86
		Ba-D2	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92
	I.S.1	Lv-D2	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86
		Br-D2	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95
	I.S.2	Ba-D1	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92
		Lv-D1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86
		Bd-D1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86
		Br-D1	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95
Piso tipo, T3	Cozinha	LL-D6	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86
		Ba-D4	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92
	I.S.1	Lv-D4	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86
		Bd-D4	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86
		Br-D4	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95
		Lv-CR1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86
	I.S.2	Ba-CR1	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92
		Bd-CR1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86
		CR1-D5	10	70,54	75	1,73	0,81	20	61,94	75	3,04	1,05
		Br-D5	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95

Através do quadro anterior é possível constatar que uma velocidade mínima de 0,6m/s é menos conservativa que uma tensão mínima de 2,45Pa devido à necessidade de menores inclinações. Apesar dos diâmetros mínimos calculados serem superiores para o critério da velocidade mínima, os diâmetros nominais utilizados são iguais entre ambos os casos. Na análise orçamental serão analisados os custos dos ramais de descarga para ambos os critérios.

7.2. Tubos de queda domésticos

Nos tubos de queda de águas domésticas foram consideradas duas hipóteses no seu dimensionamento: uso de colunas de ventilação quando necessário/obrigatório ou sempre que a sua instalação fosse possível. A segunda hipótese foi considerada com o objetivo tentar reduzir o diâmetro necessário dos tubos de queda. No Quadro 53 apresenta-se o dimensionamento destes.

Através do Quadro 53, é possível observar que o uso de ventilação secundária sempre que seja possível, não surtiu qualquer efeito nos diâmetros dos tubos de queda. Mais à frente, na análise orçamental, será analisado a diferença de custos entre estas duas hipóteses de dimensionamento.

Quadro 53 - Dimensionamento dos tubos de queda, com e sem ventilação secundária

	Ventilação secundária sempre que possível	Ventilação secundária apenas quando necessária
Tubo de queda	Diâmetro (mm)	
D1	140	140
D2	140	140
D3	90	90
D4	140	140
D5	140	140
D6	110	110

7.3. Coletores Prediais de águas domésticas

Como nos ramais de descarga, o dimensionamento dos coletores prediais foi feito para dois critérios de autolimpeza diferentes: uma velocidade mínima de 0,6m/s e uma tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa. Além do uso destes dois critérios, foi feito outro dimensionamento onde se retirou a obrigação de um diâmetro mínimo de 100mm.

No Quadro 54 e no Quadro 55 encontra-se representado o dimensionamento dos coletores domésticos.

Quadro 54 - Dimensionamento dos coletores domésticos, para diversos critérios de autolimpeza

Coletor	$\tau_{\min}=2,45\text{Pa}$ e $D_{\min.}=100\text{mm}$					$V_{\min}=0,6\text{m/s}$ e $D_{\min.}=100\text{mm}$				
	i (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
C1	20	64,78	110	3,02	1,05	10	73,77	110	1,76	0,82
C2	10	113,07	140	2,75	1,11	10	113,07	140	2,75	1,11
C3	10	115,66	140	2,82	1,13	10	115,66	140	2,82	1,13
C4	10	113,07	140	2,75	1,11	10	113,07	140	2,75	1,11
C5	10	131,47	140	3,22	1,23	10	131,47	140	3,22	1,23
C6	10	109,01	140	2,64	1,08	10	109,01	140	2,64	1,08
C7	10	127,70	140	3,13	1,21	10	127,70	140	3,13	1,21
C8	20	72,89	110	3,46	1,15	10	83,00	110	2,00	0,90
C9	10	130,57	140	3,20	1,23	10	130,57	140	3,20	1,23
C10	10	150,58	160	3,69	1,35	10	150,58	160	3,69	1,35

O resultado obtido é semelhante ao dos ramais de descarga, em que existe um aumento do diâmetro mínimo calculado, mas sem qualquer interferência nos diâmetros utilizados. Referente à remoção do diâmetro mínimo, apenas o coletor C1 sofreu uma alteração, como mostra o Quadro 55.

Mais à frente na análise orçamental, serão revistos os preços de instalação para os vários critérios de dimensionamento, e analisadas as diferenças entre estes.

Quadro 55 - Dimensionamento dos coletores domésticos, para diversos critérios de autolimpeza

Coletor	$V_{\min}=0,6\text{m/s}$ e $D_{\min.}=100\text{mm}$					$V_{\min}=0,6\text{m/s}$ e sem $D_{\min.}$				
	i (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	D_{\min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
C1	10	73,77	110	1,76	0,82	10	73,77	90	1,44	0,72
C2	10	113,07	140	2,75	1,11	10	113,07	140	2,75	1,11
C3	10	115,66	140	2,82	1,13	10	115,66	140	2,82	1,13
C4	10	113,07	140	2,75	1,11	10	113,07	140	2,75	1,11
C5	10	131,47	140	3,22	1,23	10	131,47	140	3,22	1,23
C6	10	109,01	140	2,64	1,08	10	109,01	140	2,64	1,08
C7	10	127,70	140	3,13	1,21	10	127,70	140	3,13	1,21
C8	10	83,00	110	2,00	0,90	10	83,00	110	2,00	0,90
C9	10	130,57	140	3,20	1,23	10	130,57	140	3,20	1,23
C10	10	150,58	160	3,69	1,35	10	150,58	160	3,69	1,35

7.4. Drenagem de águas pluviais

Considerando que o edifício se situa em Lisboa (Zona A) e que foi considerado um período de retorno de 10 anos foi obtida uma intensidade de precipitação de 120,14 mm/h, como se pode verificar no Quadro 56.

Quadro 56 - Critérios de dimensionamento

Região pluviométrica	A
Período de retorno, T (anos)	10
Parâmetro a	290,68
Parâmetro b	-0,549
Duração t (min)	5
Intensidade de precipitação I (mm/h)	120,14
Coefficiente de escoamento	1

Com os dados do quadro anterior é possível calcular-se o caudal escoado de cada caleira e assim dimensionar estas.

7.5. Caleiras pluviais

O sistema de drenagem de águas residuais pluviais foi dimensionado para dois critérios de autolimpeza: uma velocidade mínima de 0,9m/s (do regulamento português [N1]) e outra de 0,6m/s.

O Quadro 57 apresenta as inclinações e diâmetros a aplicar em algumas das caleiras dimensionadas para este caso de estudo, para cada critério de autolimpeza. As restantes caleiras, podem ser consultadas no Anexo C 3.

Como se pode aferir no Quadro 57 o uso de uma menor velocidade mínima foi bem-sucedida na redução das inclinações necessárias, mas devido à redução da velocidade de escoamento existe um aumento do diâmetro das caleiras de forma a compensar a menor velocidade de escoamento. O efeito do aumento dos diâmetros no custo das caleiras será visto com mais detalhe de seguida na análise orçamental.

Quadro 57 - Dimensionamento das calceiras pluviais, para diversos critérios de autolimpeza

Calceira	V min = 0,9 m/s					V min = 0,6 m/s				
	i (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
Ca1	20	120,44	140	3,99	0,95	10	137,16	160	2,27	0,73
Ca2	20	121,47	140	4,03	0,95	10	138,33	160	2,29	0,74
Ca3	20	123,10	140	4,09	0,96	10	140,19	160	2,33	0,74
Ca4	20	122,59	140	4,07	0,96	10	139,61	160	2,32	0,74
Ca5	30	28,29	40	1,37	0,44	30	28,29	40	1,37	0,44
Ca6	30	28,29	40	1,37	0,44	30	28,29	40	1,37	0,44
Ca7	25	103,58	110	4,34	0,97	10	123,00	140	2,04	0,68
Ca8	20	124,86	140	4,15	0,97	10	142,19	160	2,36	0,75

7.6. Ramais de descarga individuais e coletivos de águas pluviais

Não foram dimensionados ramais de descarga no sistema de águas pluviais, devido ao seu comprimento muito pequeno.

7.7. Tubos de queda de águas pluviais

Como no caso de estudo anterior, o dimensionamento dos tubos de queda pluviais foi feito respeitando o regulamento atual. Apesar disso, existiram alterações nos seus diâmetros ao ser retirado o diâmetro mínimo dos coletores pluviais. No Anexo C 4 podem ser consultados os diâmetros dimensionados, demonstrando a diminuição dos diâmetros de alguns tubos de queda. Na análise orçamental, será examinado com mais detalhe o impacto desta alteração.

7.8. Coletores prediais pluviais

Nos coletores pluviais diminui-se a velocidade mínima de escoamento e foi além disso, removido o diâmetro mínimo de 100mm. No Quadro 58 e no Quadro 59 encontram-se representados alguns dos coletores dimensionados neste caso de estudo, para os vários critérios. O dimensionamento dos restantes apresenta-se no Anexo C 5.

Quadro 58 - Dimensionamento dos coletores pluviais, para diversos critérios de autolimpeza

Coletor	V _{min} =0,9m/s e D _{min} =100mm					V _{min} =0,6m/s e D _{min} =100mm				
	I (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	I (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
CP1	5	106,98	125	1,68	0,90	5	106,98	125	1,68	0,90
CP2	10	78,07	110	2,48	1,03	5	88,91	110	1,41	0,80
CP3	10	78,66	110	2,50	1,04	5	89,58	110	1,42	0,80
CP4	10	126,98	140	2,93	1,16	5	144,60	160	2,24	1,08
CP15	25	38,60	110	2,80	0,96	10	45,84	110	1,37	0,70
CP16	40	23,21	110	2,43	0,81	30	24,49	110	1,95	0,73
CP17	40	24,86	110	2,64	0,86	30	26,23	110	2,12	0,77

Quadro 59 - Dimensionamento dos coletores pluviais, para diversos critérios de autolimpeza

Coletor	V _{min} =0,6m/s e D _{min} =100mm					V _{min} = 0,6 m/s e sem D _{min} .				
	I (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	I (mm/m)	D _{min} (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
CP1	5	106,98	125	1,68	0,90	5	106,9	125	1,68	0,90
CP2	5	88,91	110	1,41	0,80	5	88,91	110	1,41	0,80
CP3	5	89,58	110	1,42	0,80	5	89,58	110	1,42	0,80
CP4	5	144,60	160	2,24	1,08	5	144,6	160	2,24	1,08
CP15	10	45,84	110	1,37	0,70	10	45,84	50	1,38	0,70
CP16	30	24,49	110	1,95	0,73	30	24,49	32	1,64	0,70
CP17	30	26,23	110	2,12	0,77	30	26,23	40	1,80	0,74

Como se pode constatar no Quadro 58 o uso de uma menor velocidade mínima permitiu a redução de algumas das inclinações necessárias. No entanto, existe um aumento dos diâmetros mínimos calculados dos coletores devido à menor velocidade de escoamento, chegando a ser necessário o uso de um diâmetro maior em alguns coletores.

Como é perceptível no Quadro 59, caso seja retirado o diâmetro mínimo dos coletores existe a redução de alguns dos seus diâmetros, mais concretamente nos coletores instalados no teto e pavimento do piso -2.

O efeito destas alterações no custo do sistema pluvial será verificado de seguida na análise orçamental.

7.9. Análise orçamental

A análise orçamental deste caso de estudo encontra-se dividida pelos dois tipos de águas residuais: as águas domésticas, e as pluviais.

Como já foi referido anteriormente, considerou-se que os custos de manutenção serão idênticos para ambos os casos de estudo, pelo que não se justifica a elaboração de uma análise económica num determinado horizonte temporal.

7.9.1. Águas domésticas

O sistema de drenagem de águas domésticas encontra-se fracionado em 3 elementos: ramais de descarga; Tubos de queda; e coletores prediais. Os custos destes encontram-se no Anexo C, e a sua análise de seguida.

- Ramais de descarga:

Como já foi mencionado anteriormente, o uso de a uma velocidade mínima de 0,6 m/s como critério de autolimpeza nos ramais de descarga em relação a uma tensão mínima de arrastamento 2,45 Pa, originou um aumento dos diâmetros mínimos calculados, mas permitindo ao mesmo tempo o uso de menores inclinações.

Os custos totais dos ramais de descarga domésticos, apresentam-se de seguida:

Quadro 60 - Custos dos ramais de descarga domésticos.

	τ _{min} =2,45 Pa	V _{min} =0,6 m/s
Custo (€)	1434,44€	1434,44€

O quadro anterior demonstra que apesar dos diâmetros mínimos calculados serem superiores para o critério da velocidade, não existe uma diferença no custo entre os dois critérios. Posto isto, é mais

vantajoso o uso da velocidade mínima (de 0,6 m/s) devido a permitir uma maior flexibilidade ao projetista na escolha das inclinações a implementar e uma maior economia de espaço, sem qualquer acréscimo de custo.

- Tubos de queda:

Referente ao dimensionamento dos tubos de queda domésticos, este foi realizado de dois modos diferentes: com a instalação de colunas de ventilação secundária sempre que possível e apenas quando seja necessário/obrigatório. Com o intuito de verificar se o possível acréscimo do custo associado à coluna de ventilação secundária, conseguiria compensar uma possível diminuição do diâmetro do respetivo tubo de queda. No quadro que se segue, é possível consultar os diversos custos:

Quadro 61 - Custos dos tubos de queda domésticos.

Custo (€)	Ventilação secundária apenas quando necessária		Ventilação secundária sempre que possível	
	Tubos de queda	Colunas de ventilação	Tubos de queda	Colunas de ventilação
	3226,67€	322,08€	3226,67€	1055,12€

O uso de colunas de ventilação secundária sempre que possível, não surtiu efeito na redução do custo dos tubos de queda, acabando por originar um aumento do custo desta parcela do sistema de drenagem, tornando esta alteração no dimensionamento dos tubos de queda prejudicial para o custo do sistema de drenagem de águas domésticas.

- Coletores prediais:

Relativamente aos coletores prediais, o seu dimensionamento foi feito com dois critérios de autolimpeza: uma tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa e uma velocidade mínima de escoamento de 0,6 m/s. Além disso, foi ainda retirado o diâmetro mínimo de 100mm no critério da velocidade mínima. Os custos totais dos coletores para os diversos critérios, encontram-se representados de seguida.

Quadro 62 - Custos dos coletores prediais domésticos.

Custo (€)	$\tau_{min}=2,45$ Pa e $D_{min}=100$ mm	$V_{min}=0,6$ m/s e $D_{min}=100$ mm	$V_{min}=0,6$ m/s e sem D_{min}
	1173,18€	1173,18€	1159,84€

Como nos ramais de descarga, o uso da velocidade mínima como critério de autolimpeza causou um aumento dos valores dos diâmetros mínimos calculados, mas sem qualquer acréscimo do custo dos coletores domésticos. Com o uso deste critério de dimensionamento é possível o uso de menores inclinações nas tubagens, dando maior flexibilidade ao projetista. Por último, com a remoção do diâmetro mínimo existiu uma redução dos custos, mas numa quantidade desprezável, tornando esta alteração dispensável.

7.9.2. Águas pluviais

Tal como nas águas domésticas, o sistema de drenagem das águas pluviais divide-se em 3 elementos a dimensionar: Caleiras; Tubos de queda; e Coletores prediais. Os seus custos encontram-se representados no Anexo C, e a sua análise de seguida.

- **Caleiras:**

Como no caso de estudo anterior, no dimensionamento das caleiras foram utilizados dois critérios de autolimpeza: uma velocidade mínima de 0,9 m/s e uma de 0,6 m/s. Os custos totais das caleiras para ambos os critérios, encontram-se representados de seguida.

Quadro 63 - Custo das caleiras pluviais.

	$V_{\min}=0,9 \text{ m/s}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s}$
Custo (€)	623,76€	665,08€

A diminuição da velocidade mínima de escoamento produziu um aumento do custo das caleiras mas considerado desprezável, sendo a única vantagem para a menor velocidade mínima a possibilidade de serem utilizadas inclinações menores, permitindo uma maior flexibilidade no dimensionamento das caleiras.

- **Tubos de queda:**

Apesar dos tubos de queda pluviais não terem sido dimensionados para vários critérios, existe uma diferença nos custos destes, caso os coletores pluviais sejam dimensionados com um diâmetro mínimo de 100mm ou sem um diâmetro mínimo. Esta redução de custos ocorre devido à diminuição do diâmetro dos tubos de queda que ligam os coletores do teto do piso -2 ao seu ao pavimento.

Esta redução pode ser verificada no quadro seguinte:

Quadro 64 - Custos dos tubos de queda pluviais.

	$D_{\min. \text{ dos coletores pluviais}}=100\text{mm}$	Coletores pluviais sem $D_{\min.}$
Custo (€)	1117,66€	986,05€

- **Coletores prediais:**

Por ultimo, o dimensionamento dos coletores prediais pluviais foi executado tendo em conta dois critérios de autolimpeza: uma velocidade mínima de escoamento de 0,9m/s e uma de 0,6m/s. Além destes dois critérios foi ainda retirada a imposição de um diâmetro mínimo de 100mm.

O custo total associado aos diversos métodos de dimensionamento dos coletores pluviais encontra-se no quadro seguinte.

Quadro 65 - Custos dos coletores prediais pluviais.

	$V_{\min}=0,9 \text{ m/s e } D_{\min}=100\text{mm}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s e } D_{\min}=100\text{mm}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s e sem } D_{\min}$
Custo (€)	2948,45€	3012,56€	2522,07€

O uso de uma velocidade mínima menor teve um efeito negativo no custo dos coletores pluviais, sendo que a única redução do custo ocorreu ao ser removido o diâmetro mínimo de 100mm. Caso estas duas sugestões sejam feitas simultaneamente, uma menor velocidade mínima e remoção do diâmetro mínimo, é possível que se obtenha um menor custo e ao mesmo tempo proporcionar uma maior flexibilidade nas inclinações a implementar nos coletores.

7.9.3. Análise dos custos totais

Com a formulação dos custos totais para os diferentes critérios de autolimpeza é possível verificar se estes são eficazes na redução dos custos. No Quadro 66 e no Quadro 67 apresentam-se os custos totais dos dois tipos de sistema de drenagem de águas residuais: doméstico e pluvial.

Quadro 66 - Custo total do sistema de drenagem de águas domésticas.

	$\tau_{\min}=2,45 \text{ Pa e } D_{\min}=100\text{mm}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s e } D_{\min}=100\text{mm}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s e sem } D_{\min}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s, } D_{\min}=100\text{mm e ventilação secundária sempre que possível}$
Custo Total (€)	7032,67€	7032,67€	7019,32€	7765,71€

Quadro 67 - Custo total do sistema de drenagem de águas pluviais.

	$V_{\min}=0,9 \text{ m/s e } D_{\min}=100\text{mm}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s e } D_{\min}=100\text{mm}$	$V_{\min}=0,6 \text{ m/s e sem } D_{\min}$
Custo Total (€)	18704,57€	18810,02€	18207,45€

No sistema de drenagem de águas domésticas ao ser utilizado como critério de autolimpeza uma velocidade mínima, em lugar de uma tensão mínima de arrastamento, é possível o uso de menores inclinações nos ramais de descarga e coletores prediais sem que exista um acréscimo do custo total do sistema, possibilitando assim uma maior flexibilidade ao projetista. Relativamente ao diâmetro mínimo imposto nos coletores domésticos, caso este seja retirado existe uma redução dos custos totais, mas como demonstra o Quadro 66 trata-se de uma poupança muito reduzida considerando o custo total do sistema de drenagem doméstico. Em relação aos tubos de queda domésticos, como se pode constatar no Quadro 66 a implementação da medida proposta não é vantajosa monetariamente nem a nível técnico, tornando esta medida inviável.

Por fim, no sistema de drenagem das águas pluviais ao ser utilizado uma menor velocidade mínima para o seu dimensionamento existe um aumento do custo total do sistema de drenagem pluvial, mas considerado desprezável. Esta medida apenas teve uma maior influência nas inclinações necessárias das caleiras e coletores pluviais, possibilitando uma poupança de espaço e uma maior flexibilidade ao projetista na conceção do sistema. Nos coletores pluviais, se for retirado o diâmetro mínimo é possível obter uma redução de custos, mas mais uma vez trata-se de uma poupança desprezável. Caso sejam aplicadas estas duas medidas (uma menor velocidade mínima e retirada a imposição de um diâmetro mínimo) será possível beneficiar de uma maior flexibilidade de dimensionamento e uma pequena redução de custos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1. Conclusão

A presente dissertação tinha como objetivo principal reunir e providenciar o máximo de informação possível sobre as exigências de desempenho colocadas em diferentes países relativamente à velocidade de escoamento e tensão de arrastamento em redes prediais de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais.

Foi feita uma pesquisa das diversas normas e regulamentos, nacionais e internacionais, de forma a ser possível identificar vários critérios de autolimpeza e compará-los. Através disto foi possível perceber que o critério de autolimpeza para as águas residuais pluviais da atual legislação portuguesa é dos mais exigentes e foi proposto uma alteração dos critérios de autolimpeza do sistema predial de drenagem pluvial. Além disso, foram também consultadas publicações de vários autores com o intuito de completar a dissertação sobre a origem destes critérios e a sua razão, como, por exemplo, a origem da fórmula da tensão de arrastamento.

Com o intuito de demonstrar o efeito das medidas propostas aos diversos critérios de verificação das condições de autolimpeza, foram considerados dois casos de estudo. Nestes casos de estudo o dimensionamento do sistema de drenagem de águas residuais domésticas foi realizado para uma tensão mínima de arrastamento de 2,45Pa [7] e para uma velocidade mínima de 0,6m/s [N1], enquanto que nas águas residuais pluviais foi considerado para uma velocidade mínima de 0,9m/s [N1] e uma alternativa menos conservativa de 0,6m/s. Para avaliar o impacto destas medidas foram feitas análises orçamentais, chegando-se à conclusão que as alterações propostas para os critérios de verificação das condições de autolimpeza tiveram um efeito pouco evidente no custo total dos sistemas de drenagem (doméstico e pluvial) e na poupança de material utilizado, sendo a diminuição das inclinações necessárias das tubagens o maior impacto positivo. Esta diferença nas inclinações permite uma maior poupança de espaço e proporciona uma maior flexibilidade ao projetista no dimensionamento do sistema. Não existindo poupanças evidentes, o regulamento português poderia permitir maior flexibilidade nos critérios de verificação das condições de autolimpeza, desde que o dimensionamento da rede garantisse o arrastamento de resíduos/sedimentos.

Além dos critérios de verificação das condições de autolimpeza, propôs-se ainda medidas secundárias relacionadas com a poupança de material consumido na rede não decorrentes dos critérios de verificação das condições de autolimpeza. Como por exemplo a introdução de colunas de ventilação secundária não obrigatórias ou o uso de coletores prediais com diâmetro menor ao mínimo regulamentado (100mm) o diâmetro mínimo dos coletores exigido pelo regulamento Português [N1]. Estas medidas secundárias foram aplicadas aos dois casos de estudos e efetuadas análises orçamentais de forma a avaliar o seu impacto. O uso de coletores prediais com diâmetros inferiores ao mínimo foi a única medida proposta que teve uma diminuição dos custos da rede predial de drenagem de águas residuais, mas considerando o custo total rede, trata-se de uma poupança muito baixa e considerada residual. Todas as alterações propostas em nada alteram a eficiência do sistema, existindo sempre uma drenagem eficaz das águas residuais sem existir sedimentação de partículas.

Apesar de não existirem poupanças evidentes em nenhuma das medidas propostas, conclui-se que o regulamento português poderia ainda assim, permitir maior flexibilidade nos critérios de verificação das condições de autolimpeza, uma vez que seja garantido o arrastamento e o transporte de resíduos para o devido local.

8.2. Trabalhos futuros

As alterações climáticas recentes têm originado chuvas mais intensas, mas ao mesmo tempo períodos de seca mais prolongados, pelo que, na drenagem de águas residuais pluviais são esperadas alterações nos caudais de dimensionamento, mais propriamente aumento destes. Este aumento provocará problemas visto que serão necessários maiores diâmetros nas redes de drenagem, aumentando assim a probabilidade de sedimentação de partículas para as chuvas correntes. Na presente dissertação, estes efeitos não foram tidos em consideração, mas é um assunto que será necessário estudar e debater, possivelmente numa futura dissertação.

Bibliografia

Artigos científicos, livros e outros documentos de investigação.

- [1] Lencastre, A. – “Hidráulica geral”. Lisboa, Janeiro de 1996
- [2] QUINTELA, A.C. – “Hidráulica”. 2º Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1981
- [3] ENFINGER, K.L.; MITCHELL, P.S. – “Evaluating Self-Cleansing in Existing sewers Using the Tractive Force Method” – ADS Environmental Services, Alabama 2010
- [4] BONG, C.H.J. – “A Review on the self-cleansing Design Criteria for a sewer system” – Laboratório de Hidráulica do departamento de Engenharia Civil da Universidade de Sarawak, 2014.
- [5] ILIESCU, M. – “An experimental Approach Regarding the Sewage Self-Cleansing Conditions” – Sustainable Solutions for Energy and Environment, Bucharest 2015
- [6] BUTLER, D.; MAY, R.W.P.; ACKERS, J.C. – “Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water and Maritime Engineering” – “Sediment transport in sewers Part 2: Design”, volume 118, nº2, pp 113-120, 1996
- [7] PEDROSO, V.M.R. – “Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagem de águas”. 3ª Edição, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil 2007.
- [8] FILOHM, R; CLAUS, O – “leitfaden fur die Planung, Dimensionierung, Verlegung und den Betrieb von Abwasseranlagen” – Geberit, 2012
- [9] AGUA, C.N. – “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamento: alcantarillado sanitario” – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009
- [10] MATOS, J.S. – “Aspetos Históricos a Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano” - Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura do Instituto Superior Técnico, 2013

Regulamentos e Normas

- [N1] Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (Decreto Regulamentar nº23/95). Lisboa, 1995
- [N2] Instrucciones Técnicas para Redes de Saneamento – Revisão 5 – PD 005 12
- [N3] BS EN 12056-2 – Gravity drainage systems inside buildings
- [N4] CEU 187 – Sanitary Drainage Systems, 2012
- [N5] ENB 4-17 - Sewer and Drainage Facilities Design Manual, Portland 2011
- [N6] Design Criteria for Sewers and Watermains – 1º edição – Toronto, 2
- [N7] NBR 8160 – Sistemas prediais de esgoto sanitário – projeto e execução, 1999
- [N8] NBR 10844 – Instalações prediais de águas pluviais, 1989

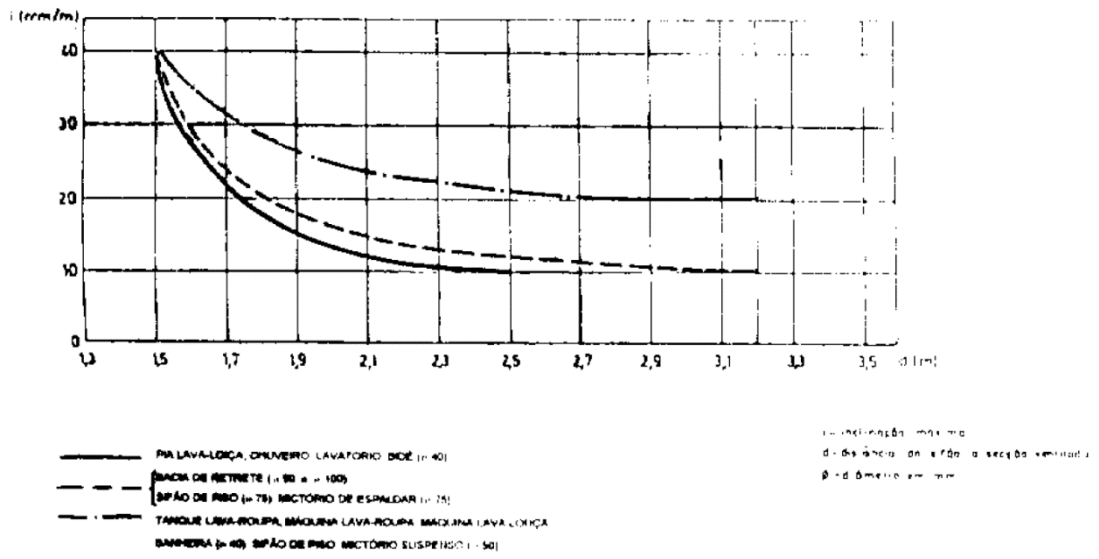
- [N9] NBR 9649 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário, 1986
- [N10] NCH 1105 – Ingeniería sanitária – Alcantarillado de aguas residuales – Diseño y cálculo de redes, 2009
- [N11] WWDG Part: B – Waterways, Wetlands and Drainage Guide, 2003

Páginas Web

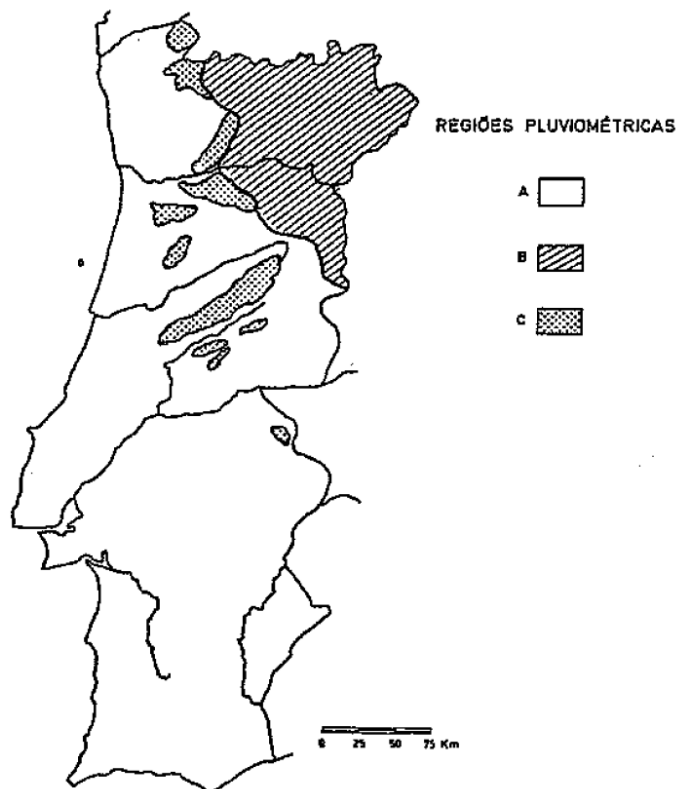
- [I1] <http://www.geradordeprecos.info/>
- [I2] Site da empresa Socaleiras - <http://www.socaleiras.pt/>
- [I3] Site da empresa Chagas - <http://www.chagas.pt/>

Anexo A – Tabelas auxiliares

A 1 - Distâncias máximas entre os sifões e as secções ventiladas para escoamento a secção cheia [N1]



A 2 - Regiões pluviométricas de Portugal



Anexo B – Caso de estudo 1

B 1 – Dimensionamento dos ramais de descarga domésticos.

Fogo	Ramal de descarga	Vmin=0.6m/s					vmin=2.45Pa						
		l (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	l (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)		
Piso tipo, Fogo B	I.S.	Ba-D1	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Bd-D1	10	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Br-D1	20	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
	Cozinha	Lv-D1	10	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Ml-D2	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Mr-D2	20	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
Piso tipo, Fogo C	I.S.1	2*LL-D2	10	40,15	50	1,97	0,79	40	35,3	50	3,46	1,02	
		Lv-D3	10	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Br-D3	20	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
	I.S.2	Ba-D3	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Lv-D4	10	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Br-D4	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
	I.S.3	Bd-CR1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Ba-CR1	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		CR1-D4	10	66,58	75	1,63	0,78	20	58,5	75	2,86	1,01	
		Lv-D5	10	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Br-D5	20	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Bd-CR2	10	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
	Cozinha	Ba-CR2	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		CR2-D5	20	66,58	75	1,63	0,78	20	58,5	75	2,86	1,01	
		Ml-D6	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Mr-D6	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		2*LL-D6	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		LL-D7	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
Piso tipo; A	I.S.1	Br-D7	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Bd-D7	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Ba-D7	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
	I.S.2	Lv-D8	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Br-D8	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Ba-D8	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
	Cozinha	Ml-D9	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Mr-D9	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		2*LL-D9	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
	Piso tipo; E	I.S.1	LL-D10	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
			Br-D10	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95
			LL-D11	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
I.S.2		Br-D11	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Ba-D11	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Ba-D12	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
I.S.3		Br-D12	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Lv-CR3	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Br-CR3	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
Cozinha		CR3-D12	10	70,54	75	1,73	0,81	20	61,9	75	3,04	1,05	
		Ml-D13	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Mr-D13	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
Piso tipo; D	Cozinha	2*LL-D13	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Ml+2LL+Mr	10	59,00	63	1,45	0,72	20	51,8	63	2,54	0,94	
		Lv-D16	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
	I.S.1	Br-D16	10	53,23	90	1,30	0,67	30	43,3	90	3,18	1,02	
		Ba-D16	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Ba-D15	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
	I.S.2	Br-D15	10	53,23	90	1,30	0,67	30	43,3	90	3,18	1,02	
		Bd-CR6	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Lv-CR6	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
	6/7ª A	I.S.1	CR6-D15	10	59,30	63	1,45	0,72	20	52,1	63	2,55	0,94
			Lv-D14	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86
			Br-D14	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95
I.S.2		Ba-D14	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Bd-D14	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Lv-D15	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
I.S.3		Br-D15	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Ba-D15	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Bd-D15	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
Cozinha		Ba-CR4	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Lv-CR4	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		CR4-D16	10	66,58	75	1,63	0,78	20	58,5	75	2,86	1,01	
Cozinha	Br-D16	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95		
	(2*LL+Ml+MR)-CR5	10	59,00	63	1,45	0,72	20	51,8	63	2,54	0,94		
	CR5-D7	10	76,52	90	1,87	0,86	20	67,2	75	3,29	1,11		
6/7ª E	Cozinha	2LL	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Mr+Ml	10	59,30	63	1,45	0,72	30	48,3	63	3,55	1,09	
		Br-D10	10	53,23	90	1,30	0,67	30	43,3	90	3,18	1,02	
	I.S.1	Lv-D10	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Ba-D11	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Br-D11	10	53,23	90	1,30	0,67	30	43,3	90	3,18	1,02	
	I.S.2	Lv-D11	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		Ba-D12	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,2	50	2,74	0,92	
		Bd-D12	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
	I.S.3	Br-D12	10	53,23	90	1,30	0,67	30	43,3	90	3,18	1,02	
		Lv-D12	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	40	2,66	0,86	
		2*LL-D17	10	45,72	63	1,12	0,61	30	37,2	63	2,74	0,92	
Condomínio	Loja 5	Br-D17	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Lv-D17	20	30,96	40	1,52	0,66	35	27,9	50	2,39	0,82	
		Br-D18	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
	Loja 4	Br-D18	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Lv-D18	20	30,96	40	1,52	0,66	35	27,9	50	2,39	0,82	
		Br-D19	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
Loja 3	Loja 2	Br-D19	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Lv-D19	20	30,96	40	1,52	0,66	35	27,9	50	2,39	0,82	
		Mictorio-D19	10	45,72	63	1,12	0,61	30	37,2	63	2,74	0,92	
	Loja 1	Br-D20	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Br-D20	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Lv-D20	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,2	50	2,66	0,86	
Loja 2	Loja 1	Mictorio-D20	10	45,72	63	1,12	0,61	30	37,2	63	2,74	0,92	
		Br-D21	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Lv-D21	20	30,96	40	1,52	0,66	35	27,9	50	2,39	0,82	
	Loja 1	Br-D22	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Br-D22	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,8	90	2,75	0,95	
		Lv-D22	20	30,96	40	1,52	0,66	35	27,9	50	2,39	0,82	

B 2 - Dimensionamento dos coletores domésticos

Coletor doméstico	$\tau_{min}=2,45Pa$ e $D_{min}=100mm$					$V_{min}=0,6m/s$ e $D_{min}=100mm$					$V_{min}=0,6m/s$ e sem D_{min}				
	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
C1	10	109,0	140	2,64	1,08	10	109,0	140	2,64	1,08	10	109,0	140	2,64	1,08
C2	10	105,7	110	2,59	1,06	10	105,7	110	2,59	1,06	10	105,7	110	2,59	1,06
C3	10	105,7	125	2,58	1,06	10	105,7	125	2,58	1,06	10	105,7	125	2,58	1,06
C4	10	125,3	140	3,06	1,19	10	125,3	140	3,06	1,19	10	125,3	140	3,06	1,19
C5	10	134,6	160	3,28	1,25	10	134,6	160	3,28	1,25	10	134,6	160	3,28	1,25
C6	10	142,9	160	3,50	1,30	10	142,9	160	3,50	1,30	10	142,9	160	3,50	1,30
C7	15	73,1	110	2,61	1,00	10	78,9	110	1,89	0,86	10	78,9	90	1,93	0,87
C8	15	73,1	110	2,61	1,00	10	78,9	110	1,89	0,86	10	78,9	90	1,93	0,87
C9	15	84,1	110	3,05	1,11	10	90,7	110	2,21	0,96	10	90,7	110	2,21	0,96
C10	10	145,8	160	3,57	1,32	10	145,8	160	3,57	1,32	10	145,8	160	3,57	1,32
C11	10	105,7	125	2,58	1,06	10	105,7	125	2,58	1,06	10	105,7	125	2,58	1,06
C12	10	154,4	160	3,78	1,37	10	154,4	160	3,78	1,37	10	154,4	160	3,78	1,37
C13	10	114,1	125	2,79	1,12	10	114,1	125	2,79	1,12	10	114,1	125	2,79	1,12
C14	10	164,5	200	4,00	1,42	10	164,5	200	4,00	1,42	10	164,5	200	4,00	1,42
C15	10	105,7	140	2,55	1,05	10	105,7	140	2,55	1,05	10	105,7	140	2,55	1,05
C16	10	123,8	200	2,91	1,15	10	123,8	200	2,91	1,15	10	123,8	200	2,91	1,15
C17	10	171,8	200	4,19	1,47	10	171,8	200	4,19	1,47	10	171,8	200	4,19	1,47
C18	10	175,9	200	4,30	1,49	10	175,9	200	4,30	1,49	10	175,9	200	4,30	1,49
C19	10	121,1	200	2,84	1,13	10	121,1	200	2,84	1,13	10	121,1	200	2,84	1,13
C20	10	113,1	140	2,75	1,11	10	113,1	140	2,75	1,11	10	113,1	140	2,75	1,11
C21	10	134,8	200	3,21	1,23	10	134,8	200	3,21	1,23	10	134,8	200	3,21	1,23
C22	10	104,2	125	2,54	1,05	10	104,2	125	2,54	1,05	10	104,2	125	2,54	1,05
C23	10	134,8	200	3,21	1,23	10	134,8	200	3,21	1,23	10	134,8	200	3,21	1,23
C24	15	76,9	110	2,76	1,04	10	83,0	110	2,00	0,90	10	83,0	90	2,03	0,91
C25	15	88,4	110	3,22	1,15	10	95,4	110	2,33	0,99	10	95,4	110	2,33	0,99
C26	15	73,1	110	2,61	1,00	10	78,9	110	1,89	0,86	10	78,9	90	1,93	0,87
C27	15	94,4	125	3,42	1,20	10	101,9	125	2,48	1,03	10	101,9	125	2,48	1,03
C28	10	113,1	140	2,75	1,11	10	113,1	140	2,75	1,11	10	113,1	140	2,75	1,11
C29	10	124,2	140	3,04	1,18	10	124,2	140	3,04	1,18	10	124,2	140	3,04	1,18
C30	10	133,8	140	3,28	1,25	10	133,8	140	3,28	1,25	10	133,8	140	3,28	1,25
C31	10	154,4	200	3,73	1,36	10	154,4	200	3,73	1,36	10	154,4	200	3,73	1,36
C32	10	159,6	200	3,87	1,39	10	159,6	200	3,87	1,39	10	159,6	200	3,87	1,39
C33	10	141,6	160	3,46	1,29	10	141,6	160	3,46	1,29	10	141,6	160	3,46	1,29
C34	10	193,7	200	4,75	1,59	10	193,7	200	4,75	1,59	10	193,7	200	4,75	1,59
C35	10	104,2	110	2,55	1,05	10	104,2	110	2,55	1,05	10	104,2	110	2,55	1,05
C36	10	113,1	140	2,75	1,11	10	113,1	140	2,75	1,11	10	113,1	140	2,75	1,11
C37	10	121,1	160	2,92	1,15	10	121,1	160	2,92	1,15	10	121,1	160	2,92	1,15

B 3 - Dimensionamento dos tubos de queda domésticos

tubo de queda doméstico	Com ventilação sempre que possível	Sem ventilação secundária (apenas quando necessária)	Caudal de cálculo (l/min)
	Diâmetro (mm)		
D1	140	140	304,24
D2	110	110	280,14
D3	125	125	280,14
D4	125	125	304,24
D5	125	125	304,24
D6	125	125	280,14
D7	160	160	356,23
D8	125	140	280,14
D9	140	140	335,42
D10	125	125	269,99
D11	140	140	335,42
D12	200	200	402,33
D13	125	125	280,14
D14	90	90	186,31
D15	160	160	364,27
D16	140	140	335,42
D17	140	140	308,86
D18	90	90	128,56
D19	90	90	147,07
D20	90	90	147,07
D21	90	90	128,56
D22	90	90	128,56

B 4 - Dimensionamento dos coletores pluviais

	Vmin=0,9m/s e Dmin=100mm					Vmin=0,6m/s e Dmin=100mm					Vmin=0,6m/s e sem Dmin.				
	I (mm/m)	Dmin. (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	I (mm/m)	Dmin. (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	I (mm/m)	Dmin. (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
CP1	10	65,11	110	2,04	0,91	5	74,15	110	1,17	0,71	5	74,15	90	1,17	0,70
CP2	15	55,97	110	2,59	0,99	5	68,77	110	1,08	0,67	5	68,77	75	1,05	0,66
CP3	10	98,86	110	3,06	1,19	5	112,58	125	1,74	0,92	5	112,58	125	1,74	0,92
CP4	10	66,67	110	2,10	0,92	5	75,92	110	1,20	0,72	5	75,92	90	1,20	0,71
CP5	10	110,63	125	3,45	1,29	5	125,98	140	1,95	0,99	5	125,98	140	1,95	0,99
CP6	40	25,10	110	2,68	0,86	15	30,17	110	1,25	0,61	15	30,17	75	1,35	0,64
CP7	10	112,20	125	3,48	1,30	5	127,77	140	1,97	1,00	5	127,77	140	1,97	1,00
CP8	10	64,15	110	2,01	0,90	5	73,05	110	1,16	0,70	5	73,05	90	1,16	0,70
CP9	20	49,35	110	2,98	1,04	5	64,00	110	1,00	0,63	5	64,00	75	1,00	0,64
CP10	10	78,32	110	2,49	1,04	5	89,19	110	1,41	0,80	5	89,19	110	1,41	0,80
CP11	15	44,41	110	2,53	0,98	5	54,57	110	0,84	0,56	5	54,57	75	0,87	0,58
CP12	10	85,66	110	2,86	1,14	5	97,55	110	1,52	0,84	5	97,55	110	1,52	0,84
CP13	10	121,08	140	3,79	1,37	5	137,88	160	2,16	1,06	5	137,88	160	2,16	1,06
CP14	15	56,63	110	2,62	1,00	5	69,58	110	1,10	0,67	5	69,58	75	1,06	0,66
CP15	10	128,07	140	3,94	1,41	5	145,84	160	2,25	1,09	5	145,84	160	2,25	1,09
CP16	10	70,31	110	2,22	0,96	5	80,07	110	1,27	0,74	5	80,07	90	1,25	0,73
CP17	10	64,47	110	2,02	0,90	5	73,42	110	1,16	0,70	5	73,42	90	1,16	0,70
CP18	30	31,82	110	2,67	0,90	10	39,10	110	1,14	0,61	10	39,10	75	1,21	0,64
CP19	10	70,38	110	2,22	0,96	5	80,15	110	1,27	0,74	5	80,15	90	1,25	0,73
CP20	30	30,07	110	3,21	1,02	10	36,95	110	1,37	0,69	10	36,95	75	1,44	0,72
CP21	30	36,31	110	3,12	1,00	10	44,62	110	1,33	0,68	10	44,62	75	1,40	0,71
CP22	20	46,51	110	2,78	1,00	10	52,97	110	1,62	0,78	10	52,97	75	1,68	0,80
CP23	35	29,79	110	2,88	0,93	10	37,68	110	1,09	0,60	10	37,68	75	1,16	0,62
CP24	10	81,47	110	2,59	1,06	5	92,78	110	1,46	0,82	5	92,78	110	1,46	0,82
CP25	40	15,14	110	1,45	0,57	40	15,14	110	1,45	0,57	40	15,14	32	1,87	0,68
CP26	40	25,31	110	2,70	0,87	15	30,42	110	1,26	0,62	15	30,42	40	1,44	0,67
CP27	40	26,05	110	2,80	0,89	15	31,31	110	1,31	0,63	15	31,31	40	1,48	0,69
CP28	40	22,68	110	2,37	0,80	20	25,82	110	1,38	0,62	15	27,25	40	1,30	0,63
CP29	40	23,01	110	2,41	0,81	20	26,21	110	1,41	0,63	15	27,66	40	1,32	0,63
CP30	40	21,63	110	2,24	0,77	20	24,63	110	1,31	0,60	15	26,00	40	1,24	0,61
CP31	10	82,85	110	2,63	1,08	5	94,35	110	1,48	0,82	5	94,35	110	1,48	0,82
CP32	10	99,33	110	3,07	1,19	5	113,12	125	1,75	0,92	5	113,12	125	1,75	0,92
CP33	40	21,63	110	2,24	0,77	20	24,63	110	1,31	0,60	20	24,63	75	1,41	0,63
CP34	40	23,01	110	2,41	0,81	20	26,21	110	1,41	0,63	15	27,66	75	1,22	0,60
CP35	40	25,31	110	2,70	0,87	15	30,42	110	1,26	0,62	15	30,42	75	1,36	0,65
CP36	10	109,77	125	3,43	1,28	5	125,00	140	1,94	0,99	5	125,00	140	1,94	0,99
CP37	10	109,77	125	3,43	1,28	5	125,00	140	1,94	0,99	5	125,00	140	1,94	0,99
CP38	40	26,05	110	2,80	0,89	15	31,31	110	1,31	0,63	15	31,31	75	1,41	0,66
CP39	10	117,60	125	3,56	1,32	5	133,92	140	2,00	1,01	5	133,92	140	2,00	1,01
CP40	40	22,68	110	2,37	0,80	20	25,82	110	1,38	0,62	20	25,82	75	1,49	0,66
CP41	10	117,60	125	3,56	1,32	5	133,92	140	2,00	1,01	5	133,92	140	2,00	1,01
CP42	10	117,60	125	3,56	1,32	5	133,92	140	2,00	1,01	5	133,92	140	2,00	1,01
CP43	40	5,44	110	0,41	0,25	40	5,44	110	0,41	0,25	40	5,44	32	0,55	0,30
CP44	40	9,22	110	0,79	0,38	40	9,22	110	0,79	0,38	40	9,22	32	1,05	0,46
CP45	40	10,12	110	0,89	0,41	40	10,12	110	0,89	0,41	40	10,12	32	1,17	0,50
CP46	40	13,35	110	1,24	0,52	40	13,35	110	1,24	0,52	40	13,35	32	1,62	0,62

B 5 - Dimensionamento dos tubos de queda pluviais

tubo de queda pluvial	Coletores pluviais com Dmin=100mm		Coletores pluviais sem Dmin
	Diâmetro (mm)		Caudal de cálculo (l/min)
T1	75	75	148
T2	75	75	130
T3	75	75	104
T4	75	75	164
T5	75	75	154
T6	75	75	126
T7	75	75	24,24
T8	75	75	34
T9	75	75	150
T10	75	75	44
T11	75	75	39,54
T18	75	75	35,82
T19	75	75	56,2
T20	75	75	88,8
T12	110	50	148
T13	110	50	130
T14	110	50	104
T15	110	50	164
T16	110	50	154
T17	110	50	126

B 6 - Dimensionamento das caixas pluviais

	Vmin=0,9m/s					Vmin=0,6m/s				
	l (mm/m)	Dmin. (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	l (mm/m)	Dmin. (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)
Ca1	30	95,97	110	4,77	1,00	10	117,93	125	1,98	0,67
Ca2	30	81,59	90	4,08	0,90	20	88,04	110	2,88	0,76
Ca3	30	91,42	110	4,51	0,96	15	104,11	110	2,62	0,75
Ca4	30	90,35	110	4,45	0,95	15	102,89	110	2,59	0,75
Ca5	30	84,08	90	4,22	0,92	15	95,75	110	2,38	0,71
Ca6	30	84,08	90	4,22	0,92	15	95,75	110	2,38	0,71
Ca7	30	97,41	110	4,86	1,01	15	110,93	125	2,77	0,78
Ca8	30	68,41	75	3,43	0,80	20	73,81	90	2,43	0,68
Ca9	30	78,30	90	3,89	0,87	15	89,16	110	2,19	0,67
Ca10	30	70,08	75	3,53	0,82	20	75,62	90	2,49	0,69
Ca11	30	36,21	50	1,76	0,51	30	36,21	50	1,76	0,51
Ca12	30	30,56	40	1,50	0,46	30	30,56	40	1,50	0,46
Ca13	30	37,41	50	1,83	0,53	30	37,41	50	1,83	0,53
Ca14	30	37,69	50	1,84	0,53	30	37,69	50	1,84	0,53
Ca15	30	55,29	75	2,68	0,68	20	59,65	90	2,42	0,68
Ca16	30	56,38	75	2,74	0,69	30	56,38	75	2,74	0,69
Ca17	30	29,31	40	1,43	0,45	30	29,31	40	1,43	0,45
Ca18	30	27,50	32	1,38	0,44	30	27,50	32	1,38	0,44
Ca19	30	44,27	63	2,13	0,58	30	44,27	63	2,13	0,58
Ca20	30	72,48	90	3,56	0,82	20	78,20	90	2,59	0,71
Ca21	30	66,75	75	3,33	0,79	20	72,02	90	2,36	0,67
Gr1	30	29,38	40	1,44	0,45	30	29,38	40	1,44	0,45
Gr2	15	141,16	160	3,52	0,92	10	152,31	160	2,56	0,79
CLp1	30	18,39	32	0,87	0,32	30	18,39	32	0,87	0,32
CLp2	30	17,83	32	0,83	0,31	30	17,83	32	0,83	0,31
CLp3	30	10,56	32	0,44	0,21	30	10,56	32	0,44	0,21
CLp4	30	13,80	32	0,61	0,25	30	13,80	32	0,61	0,25
CLp5	30	13,80	32	0,61	0,25	30	13,80	32	0,61	0,25
CLp6	30	15,14	32	0,69	0,27	30	15,14	32	0,69	0,27
CLp7	30	15,14	32	0,69	0,27	30	15,14	32	0,69	0,27
CLp8	30	19,97	32	0,95	0,34	30	19,97	32	0,95	0,34
CLp9	30	19,97	32	0,95	0,34	30	19,97	32	0,95	0,34

B 7 - Análise orçamental dos coletores domésticos

Coletores domésticos	Comprimento	>2,45Pa e Dmin=100mm		Vmin=0,6m/s e Dmin=100mm		Vmin=0,6m/s e sem Dmin	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
C1	3,40	140	103,50	140	103,50	140	103,50
C2	2,93	110	68,77	110	68,77	110	68,77
C3	3,36	125	89,98	125	89,98	125	89,98
C4	2,93	140	89,19	140	89,19	140	89,19
C5	0,59	160	20,11	160	20,11	160	20,11
C6	1,02	160	34,77	160	34,77	160	34,77
C7	1,1	110	25,82	110	25,82	90	22,36
C8	0,97	110	22,77	110	22,77	90	19,72
C9	9	110	211,23	110	211,23	110	211,23
C10	9,55	160	325,56	160	325,56	160	325,56
C11	2,6	125	69,63	125	69,63	125	69,63
C12	0,21	160	7,16	160	7,16	160	7,16
C13	0,16	125	4,28	125	4,28	125	4,28
C14	4,04	200	197,31	200	197,31	200	197,31
C15	1,64	140	49,92	140	49,92	140	49,92
C16	2,17	200	105,98	200	105,98	200	105,98
C17	0,28	200	13,68	200	13,68	200	13,68
C18	0,45	200	21,98	200	21,98	200	21,98
C19	1,23	200	60,07	200	60,07	200	60,07
C20	1,31	140	39,88	140	39,88	140	39,88
C21	2,6	200	126,98	200	126,98	200	126,98
C22	2,49	125	66,68	125	66,68	125	66,68
C23	2,08	200	101,59	200	101,59	200	101,59
C24	1,65	110	38,73	110	38,73	90	33,54
C25	3,56	110	83,55	110	83,55	110	83,55
C26	2,92	110	68,53	110	68,53	90	59,36
C27	3,3	125	88,37	125	88,37	125	88,37
C28	3,2	140	97,41	140	97,41	140	97,41
C29	2,13	140	64,84	140	64,84	140	64,84
C30	2,65	140	80,67	140	80,67	140	80,67
C31	0,43	200	21,00	200	21,00	200	21,00
C32	9,43	200	460,56	200	460,56	200	460,56
C33	5,97	160	203,52	160	203,52	160	203,52
C34	5,26	200	256,90	200	256,90	200	256,90
C35	2,16	110	50,70	110	50,70	110	50,70
C36	2,53	140	77,01	140	77,01	140	77,01
C37	2,04	160	69,54	160	69,54	160	69,54

B 8 - Análise orçamental dos ramais de descarga domésticos

Ramal de descarga doméstico			Comprimento (m)	>2,45Pa		Vmin=0,6m/s	
Fogo				Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
Piso tipo, Fogo B	I.S.	Troco	0.41	50	3,27	50	3,27
		Bd-D1	1.69	40	10,99	40	10,99
		Br-D1	1.86	90	27,38	90	27,38
	Cozinha	Lv-D1	0.62	40	4,03	40	4,03
		MI-D2	0.49	50	3,91	50	3,91
		Mr-D2	0.68	50	5,42	50	5,42
Piso tipo, Fogo C	I.S.1	2*LI-D2	1.81	50	14,43	50	14,43
		Lv-D3	0.32	40	2,08	40	2,08
		Br-D3	0.84	90	12,36	90	12,36
	I.S.2	Ba-D3	1.6	50	12,75	50	12,75
		Lv-D4	0.57	40	3,71	40	3,71
		Br-D4	1.87	90	27,53	90	27,53
	Cozinha	Bd-CR1	0.59	40	3,84	40	3,84
		Ba-CR1	0.75	50	5,98	50	5,98
		CR1-D4	0.94	75	10,40	75	10,40
		Lv-D5	0.57	40	3,71	40	3,71
		Br-D5	1.8	90	26,50	90	26,50
		Bd-CR2	0.76	40	4,94	40	4,94
	I.S.3	Ba-CR2	0.75	50	5,98	50	5,98
		CR2-D5	0.75	75	8,30	75	8,30
		MI-D6	0.6	50	4,78	50	4,78
Piso tipo, Fogo A	I.S.1	Mr-D6	0.67	50	5,34	50	5,34
		2*LI-D6	2.27	50	18,09	50	18,09
		Lv-D7	0.88	40	5,72	40	5,72
	I.S.2	Br-D7	1.65	90	24,29	90	24,29
		Bd-D7	1.35	40	8,78	40	8,78
		Ba-D7	0.73	50	5,82	50	5,82
Cozinha	Lv-D8	1.79	40	11,64	40	11,64	
	Br-D8	1.17	90	17,22	90	17,22	
	Ba-D8	0.35	50	2,79	50	2,79	
	MI-D9	0.64	50	5,10	50	5,10	
	Mr-D9	2.5	50	19,93	50	19,93	
	MI-D9	0.55	50	7,57	50	7,57	
Piso tipo, Fogo E	I.S.1	2*LI-D9	1.25	40	8,13	40	8,13
		Br-D10	0.54	90	7,95	90	7,95
		Lv-D11	0.56	40	3,64	40	3,64
	I.S.2	Br-D11	1.16	90	17,08	90	17,08
		Ba-D11	2.24	50	17,85	50	17,85
		Ba-D12	0.42	50	3,35	50	3,35
	I.S.3	Br-D12	0.57	90	8,39	90	8,39
		Lv-CR3	0.74	40	4,81	40	4,81
		Br-CR3	0.67	90	9,86	90	9,86
	Cozinha	CR3-D12	0.93	75	10,29	75	10,29
		MI-D13	0.47	50	3,75	50	3,75
		Mr-D13	0.9	50	7,17	50	7,17
6º e 7º A	I.S.1	2*LI-D13	1.81	50	14,43	50	14,43
		Lv-D14	1.16	40	7,54	40	7,54
		Br-D14	0.9	90	13,25	90	13,25
	I.S.2	Ba-D14	2.1	50	16,74	50	16,74
		Bd-D14	1.3	40	8,45	40	8,45
		Lv-D15	0.73	40	4,75	40	4,75
	I.S.3	Br-D15	0.63	90	9,27	90	9,27
		Ba-D15	1.7	50	13,55	50	13,55
		Bd-D15	1.14	40	7,41	40	7,41
	Cozinha	Ba-CR4	1.67	50	13,31	50	13,31
		Lv-CR4	1.81	40	11,77	40	11,77
		CR4-D16	1.63	75	18,03	75	18,03
	Cozinha	Br-D16	0.35	90	5,15	90	5,15
		(2*LI+MI+MR)-CR5	3.53	63	33,61	63	33,61
		CR5-D7	0.45	75	4,98	75	4,98
Condomínio	Loja 5	2*LI-D17	2.34	63	22,28	63	22,28
		Br-D17	1.35	90	19,87	90	19,87
		Lv-D17	2.1	50	16,74	50	16,74
	Loja 4	Br-D18	0.79	90	11,63	90	11,63
		Br-D18	2.74	90	40,33	90	40,33
		Lv-D18	1.87	50	14,90	50	14,90
	Loja 3	Br-D19	0.6	90	8,83	90	8,83
		Br-D19	0.62	90	9,13	90	9,13
		Lv-D19	1.93	50	15,38	50	15,38
	Loja 2	Mictorio-D19	1.22	63	11,61	63	11,61
		Br-D20	0.57	90	8,39	90	8,39
		Br-D20	0.57	90	8,39	90	8,39
	Loja 1	Lv-D20	1.97	50	15,70	50	15,70
		Mictorio-D20	1.21	63	11,52	63	11,52
		Br-D21	0.86	90	12,66	90	12,66
Piso tipo; D	I.S.1	Br-D21	0.82	90	12,07	90	12,07
		Lv-D21	1.76	50	14,03	50	14,03
		Br-D22	1.67	90	24,58	90	24,58
6/7º E	I.S.2	Br-D22	0.52	90	7,65	90	7,65
		Lv-D22	0.64	50	5,10	50	5,10
		MI+2LI+Mr-D17	4.7	63	44,74	63	44,74
	I.S.3	Lv-D16	2.17	40	14,11	40	14,11
		Bd-D16	1.56	90	22,96	90	22,96
		Ba-D16	1.32	50	10,52	50	10,52
6/7º E	I.S.1	Ba-D15	0.36	50	2,87	50	2,87
		Br-D15	1.71	90	25,17	90	25,17
		Lv-CR6	0.45	40	2,93	40	2,93
	I.S.2	Lv-CR6	1.63	40	10,60	40	10,60
		CR6-D15	0.57	63	5,43	63	5,43
		2LI-D9	2.71	50	21,60	50	21,60
6/7º E	I.S.1	Mr+MI-D9	1.63	63	15,52	63	15,52
		Br-D10	0.57	90	8,39	90	8,39
		Lv-D10	1.25	40	8,13	40	8,13
	I.S.3	Ba-D11	2.24	50	17,85	50	17,85
		Br-D11	1.17	90	17,22	90	17,22
		Lv-D11	0.56	40	3,64	40	3,64
I.S.3	Ba-D12	0.42	50	3,35	50	3,35	
	Bd-D12	1.11	40	7,22	40	7,22	
	Br-D12	0.61	90	8,98	90	8,98	
I.S.3	Lv-D12	1.79	40	11,64	40	11,64	

B 9 - Análise orçamental aos tubos de queda domésticos

Tubos de queda	Comprimento	Ventilação secundária apenas quando necessária		Ventilação secundária sempre que possível	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
D1	21	140	541,17	140	541,17
D2	21	110	417,69	110	417,69
D3	21	125	474,6	125	474,6
D4	21	125	474,6	125	474,6
D5	21	125	474,6	125	474,6
D6	21	125	474,6	125	474,6
D7	30	160	867,9	160	867,9
D8	30	140	773,1	125	678
D9	30	140	773,1	140	773,1
D10	30	125	678	125	678
D11	30	140	773,1	140	773,1
D12	30	200	1267,2	200	1267,2
D13	30	125	678	125	678
D14	30	90	519,6	90	519,6
D15	30	160	867,9	160	867,9
D16	30	140	773,1	140	773,1
D17	30	140	773,1	140	773,1
D18	30	90	519,6	90	519,6
D19	30	90	519,6	90	519,6
D20	30	90	519,6	90	519,6
D21	21	90	363,72	90	363,72
D22	21	90	363,72	90	363,72

B 10 - Análise orçamental das colunas de ventilação secundária

Coluna de ventilação	Comprimento	Ventilação secundária apenas quando necessária		Ventilação secundária sempre que possível	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
V1	21	90	132,51	110	174,93
V2	21	110	174,93	90	132,51
V3	21	125	312,3	90	132,51
V4	21	110	249,9	90	132,51
V5	21	110	249,9	90	132,51
V6	21	110	249,9	110	174,93
V7	30	-	-	125	312,3
V8	30	-	-	110	249,9
V9	30	-	-	110	249,9
V10	30	-	-	110	249,9
V11	30	-	-	110	249,9
V12	30	-	-	160	408,6
V13	30	-	-	110	249,9
V14	30	-	-	90	189,3
V15	30	-	-	125	312,3
V16	30	-	-	110	249,9
V17	30	-	-	110	249,9
V18	30	-	-	90	189,3
V19	30	-	-	90	189,3
V20	30	-	-	90	189,3
V21	21	-	-	90	132,51
V22	21	-	-	90	132,51

B 11 - Análise orçamental dos tubos de queda pluviais

Tubo de queda	Comprimento	Coletores pluviais com Dmin=100mm		Coletores pluviais sem Dmin	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
T1	26	75	338,26	75	338,26
T2	26	75	338,26	75	338,26
T3	26	75	338,26	75	338,26
T4	26	75	338,26	75	338,26
T5	20	75	260,2	75	260,2
T6	20	75	260,2	75	260,2
T7	29	75	377,29	75	377,29
T8	26	75	338,26	75	338,26
T9	26	75	338,26	75	338,26
T10	26	75	338,26	75	338,26
T11	26	75	338,26	75	338,26
T18	26	75	338,26	75	338,26
T19	26	75	338,26	75	338,26
T20	26	75	338,26	75	338,26
T12	3	110	59,67	50	28,05
T13	3	110	59,67	50	28,05
T14	3	110	59,67	50	28,05
T15	3	110	59,67	50	28,05
T16	3	110	59,67	50	28,05
T17	3	110	59,67	50	28,05

B 12 - Análise orçamental das cauleiras pluviais

Cauleira	Comprimento (m)	Vmin=0,9m/s		Vmin=0,6m/s	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
Ca1	10	110	109	125	113
Ca2	13,8	90	140,76	110	150,42
Ca3	8,9	110	97,01	110	97,01
Ca4	9,8	110	106,82	110	106,82
Ca5	8,85	90	90,27	110	96,465
Ca6	8,85	90	90,27	110	96,465
Ca7	8,8	110	95,92	125	99,44
Ca8	7,15	75	70,785	90	72,93
Ca9	6,7	90	68,34	110	73,03
Ca10	5,82	75	57,618	90	59,364
Ca11	20,7	50	190,44	50	190,44
Ca12	15	40	135	40	135
Ca13	3,25	50	29,9	50	29,9
Ca14	3,35	50	30,82	50	30,82
Ca15	3,3	75	32,67	90	33,66
Ca16	7,79	75	77,121	75	77,121
Ca17	1,8	40	16,2	40	16,2
Ca18	2,95	32	25,96	32	25,96
Ca19	3,2	63	30,72	63	30,72
Ca20	7,4	90	75,48	90	75,48
Ca21	7,1	75	70,29	90	72,42
Gr1	4,16	40	37,44	40	37,44
Gr2	3,62	160	45,25	160	45,25
CLP1	10,55	32	92,84	32	92,84
CLP2	9,85	32	86,68	32	86,68
CLP3	2,41	32	21,208	32	21,208
CLP4	4,94	32	43,472	32	43,472
CLP5	4,98	32	43,824	32	43,824
CLP6	6,35	32	55,88	32	55,88
CLP7	6,36	32	55,968	32	55,968
CLP8	13,4	32	117,92	32	117,92
CLP9	13,3	32	117,04	32	117,04

B 13 - Análise orçamental dos coletores pluviais

Coletor pluvial	Comprimento	Vmin=0,9m/s e Dmin=100mm		Vmin=0,6m/s e Dmin=100mm		Vmin=0,6m/s e sem Dmin	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
Cp1	6,14	110	144,11	110	144,11	90	124,83
Cp2	3,18	110	74,63	110	74,63	75	48,94
Cp3	7,23	110	169,69	125	193,62	125	193,62
Cp4	6,6	110	154,90	110	154,90	90	134,18
Cp5	2,6	125	69,63	140	79,14	140	79,14
Cp6	3,55	110	83,32	110	83,32	75	54,63
Cp7	2,35	125	62,93	140	71,53	140	71,53
Cp8	3,08	110	72,29	110	72,29	90	62,62
Cp9	6,1	110	143,17	110	143,17	75	93,88
Cp10	9,1	110	213,58	110	213,58	110	213,58
Cp11	5,1	110	119,70	110	119,70	75	78,49
Cp12	8,72	110	204,66	110	204,66	110	204,66
Cp13	3,27	140	99,54	160	111,47	160	111,47
Cp14	5,45	110	127,91	110	127,91	75	83,88
Cp15	1,82	140	55,40	160	62,04	160	62,04
Cp16	7,8	110	183,07	110	183,07	90	158,57
Cp17	7,82	110	183,54	110	183,54	90	158,98
Cp18	1,75	110	41,07	110	41,07	75	26,93
Cp19	2,46	110	57,74	110	57,74	90	50,01
Cp20	5,35	110	125,56	110	125,56	75	82,34
Cp21	5,24	110	122,98	110	122,98	75	80,64
Cp22	5,61	110	131,67	110	131,67	75	86,34
Cp23	3,42	110	80,27	110	80,27	75	52,63
Cp24	10,82	110	253,95	110	253,95	110	253,95
Cp25	3,5	110	82,15	110	82,15	32	28,11
Cp26	2,86	110	67,12	110	67,12	40	26,68
Cp27	3,13	110	73,46	110	73,46	40	29,20
Cp28	2,57	110	60,32	110	60,32	40	23,98
Cp29	2,44	110	57,27	110	57,27	40	22,77
Cp30	3,01	110	70,64	110	70,64	40	28,08
Cp31	11,2	110	292,88	110	292,88	110	292,88
Cp32	7,7	110	201,36	125	223,30	125	223,30
Cp33	2,55	110	66,68	110	66,68	75	44,27
Cp34	2,03	110	53,08	110	53,08	75	35,24
Cp35	1,42	110	37,13	110	37,13	75	24,65
Cp36	13,1	125	379,90	140	427,85	140	427,85
Cp37	10,68	125	309,72	140	348,81	140	348,81
Cp38	1,65	110	43,15	110	43,15	75	28,64
Cp39	9,3	125	269,70	140	303,74	140	303,74
Cp40	2,06	110	53,87	110	53,87	75	35,76
Cp41	1,1	125	31,90	140	35,93	140	35,93
Cp42	1,57	125	45,53	140	51,28	140	51,28
Cp43	9,03	110	236,13	110	236,13	32	89,13
Cp44	7,09	110	185,40	110	185,40	32	69,98
Cp45	6,74	110	176,25	110	176,25	32	66,52
Cp46	5,9	110	154,29	110	154,29	32	58,23

Anexo C – Caso de estudo 2

C 1 - Dimensionamento dos ramais de descarga domésticos

Fogo	Ramal de descarga	Vmin=0,6m/s						tmin=2,45Pa					
		i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	τ (Pa)	V (m/s)		
Piso tipo, T2	Cozinha	LL-D2	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
	I.S.1	Ba-D2	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92	
		Lv-D2	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		Br-D2	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95	
		Ba-D1	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92	
	I.S.2	Lv-D1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		Bd-D1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
Br-D1		10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95		
Piso tipo, T3	Cozinha	LL-D6	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
	I.S.1	Ba-D4	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92	
		Lv-D4	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		Bd-D4	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		Br-D4	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95	
	I.S.2	Lv-CR1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		Ba-CR1	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92	
		Bd-CR1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		CR1-D5	10	70,54	75	1,73	0,81	20	61,94	75	3,04	1,05	
		Br-D5	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95	
T2	Cozinha	LL-D2	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
	I.S.1	Ba-D2	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92	
		Lv-D2	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		Br-D2	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95	
		Ba-D1	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92	
	I.S.2	Lv-D1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		Bd-D1	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
Br-D1		10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95		
T0	Cozinha	LL-D3	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
	I.S.	Ba-D4	10	45,72	50	1,12	0,61	30	37,21	50	2,74	0,92	
		Lv-D4	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		Bd-D4	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	
		Br-D4	10	53,23	90	1,30	0,67	30	43,32	90	3,18	1,02	
Condomínio	I.S.	Br-D6	10	53,23	90	1,30	0,67	25	44,83	90	2,75	0,95	
		Lv-D6	20	30,96	40	1,52	0,66	40	27,19	40	2,66	0,86	

C 2 - Dimensionamento dos tubos de queda domésticos

tubo de queda doméstico	Com ventilação secundária apenas quando necessária	Com ventilação secundária sempre que possível	Caudal de cálculo (l/min)
	Diâmetro (mm)		
D1	140	140	335,42
D2	140	140	335,42
D3	90	90	107,38
D4	140	140	335,42
D5	140	140	304,24
D6	110	110	147,07

C 3 - Dimensionamento das caldeiras pluviais

Caldeira pluvial	Vmin=0,9m/s					Vmin=0,6m/s				
	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	Tensão de arrastamento (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	Tensão de arrastamento (Pa)	V (m/s)
Ca1	20	120,44	140	3,99	0,95	10	137,16	160	2,27	0,73
Ca2	20	121,47	140	4,03	0,95	10	138,33	160	2,29	0,74
Ca3	20	123,10	140	4,09	0,96	10	140,19	160	2,33	0,74
Ca4	20	122,59	140	4,07	0,96	10	139,61	160	2,32	0,74
Ca5	30	28,29	40	1,37	0,44	30	28,29	40	1,37	0,44
Ca6	30	28,29	40	1,37	0,44	30	28,29	40	1,37	0,44
Ca7	25	103,58	110	4,34	0,97	10	123,00	140	2,04	0,68
Ca8	20	124,86	140	4,15	0,97	10	142,19	160	2,36	0,75
Gr1	30	45,02	50	2,26	0,61	30	45,02	50	2,26	0,61
Gr2	30	48,22	63	2,36	0,62	30	48,22	63	2,36	0,62

C 4 - Dimensionamento dos tubos de queda pluviais

Tubo de queda	Coletores pluviais com Dmin=100mm	Coletores pluviais sem Dmin	Caudal de cálculo (l/min)
	Diâmetro (mm)		
T1	50	50	249,89
T2	50	50	254,99
T3	50	50	234,70
T4	50	50	232,13
T5	75	75	409,34
T6	110	50	53,38
T7	110	50	60,40
T8	110	50	46,35
T9	110	50	33,01
T10	50	50	19,67

C 5 - Dimensionamento dos coletores pluviais

Coletor pluvial	Vmin=0,9m/s e Dmin=100mm					Vmin=0,6m/s e Dmin=100mm					Vmin=0,6m/s e sem Dmin				
	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	Tensão de arrastamento (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	Tensão de arrastamento (Pa)	V (m/s)	i (mm/m)	Dmin (mm)	DN (mm)	Tensão de arrastamento (Pa)	V (m/s)
CP1	5	106,98	125	1,68	0,90	5	106,98	125	1,68	0,90	5	106,98	125	1,68	0,90
CP2	10	78,07	110	2,48	1,03	5	88,91	110	1,41	0,80	5	88,91	110	1,41	0,80
CP3	10	78,66	110	2,50	1,04	5	89,58	110	1,42	0,80	5	89,58	110	1,42	0,80
CP4	10	126,98	140	2,93	1,16	5	144,60	160	2,24	1,08	5	144,60	160	2,24	1,08
CP5	10	76,26	110	2,42	1,02	5	86,84	110	1,38	0,78	5	86,84	110	1,38	0,78
CP6	5	157,54	200	2,50	1,17	5	157,54	200	2,50	1,17	5	157,54	200	2,50	1,17
CP7	10	75,94	110	2,41	1,01	5	86,48	110	1,37	0,78	5	86,48	110	1,37	0,78
CP8	5	168,79	200	2,66	1,22	5	168,79	200	2,66	1,22	5	168,79	200	2,66	1,22
CP9	25	36,85	110	2,65	0,93	10	43,76	110	1,30	0,67	10	43,76	50	1,35	0,69
CP10	25	38,60	110	2,80	0,96	10	45,84	110	1,37	0,70	10	45,84	50	1,38	0,70
CP11	30	33,78	110	2,87	0,95	15	38,47	110	1,67	0,74	10	41,51	50	1,30	0,67
CP12	35	28,89	110	2,77	0,90	20	32,09	110	1,80	0,74	10	36,54	50	1,16	0,62
CP13	25	36,85	110	2,65	0,93	10	43,76	110	1,30	0,67	10	43,76	50	1,35	0,69
CP14	15	53,04	110	2,43	0,95	5	65,17	110	1,02	0,64	5	65,17	75	1,02	0,64
CP15	25	38,60	110	2,80	0,96	10	45,84	110	1,37	0,70	10	45,84	50	1,38	0,70
CP16	40	23,21	110	2,43	0,81	30	24,49	110	1,95	0,73	20	26,43	50	1,64	0,70
CP17	40	24,86	110	2,64	0,86	30	26,23	110	2,12	0,77	20	28,30	40	1,80	0,74
CP18	40	28,18	110	3,08	0,95	20	32,09	110	1,80	0,74	15	33,87	50	1,61	0,73
CP19	10	73,84	110	2,34	0,99	5	84,09	110	1,34	0,77	5	84,09	90	1,28	0,75
CP20	10	86,11	110	2,73	1,10	5	98,06	110	1,52	0,84	5	98,06	110	1,52	0,84
CP21	30	33,78	110	2,87	0,95	10	41,51	110	1,22	0,64	10	41,51	50	1,30	0,67
CP22	10	93,46	110	2,94	1,16	5	106,43	125	1,67	0,89	5	106,43	125	1,67	0,89
CP23	10	93,46	110	2,94	1,16	5	106,43	125	1,67	0,89	5	106,43	125	1,67	0,89

C 6 - Análise orçamental dos ramais de descarga domésticos

Ramal de descarga doméstico				Comprimento (m)	T>2,45Pa		Vmin=0,6m/s		
Piso	Fogo	Troço	Diâmetro (mm)		Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)		
Rés-do-chão	T2	Cozinha	LL-D2	4,17	40	27,11	40	27,11	
			Ba-D2	1,83	50	14,59	50	14,59	
		I.S.1	Lv-D2	0,8	40	5,20	40	5,20	
			Br-D2	1,9	90	27,97	90	27,97	
			Ba-D1	2,25	50	17,93	50	17,93	
		I.S.2	Lv-D1	1,4	40	9,10	40	9,10	
			Bd-D1	0,56	40	3,64	40	3,64	
	Br-D1		0,7	90	10,30	90	10,30		
	LL-D3		2,53	40	16,45	40	16,45		
	T0	Cozinha	Ba-D4	1,92	50	15,30	50	15,30	
			Lv-D4	1,15	40	7,48	40	7,48	
		I.S.	Bd-D4	1,17	40	7,61	40	7,61	
			Br-D4	1,73	90	25,47	90	25,47	
			LL-D2	4,17	40	27,11	40	27,11	
Piso tipo		T2	Cozinha	Ba-D2	1,83	50	14,59	50	14,59
				Lv-D2	0,8	40	5,20	40	5,20
	I.S.1		Br-D2	1,9	90	27,97	90	27,97	
			Ba-D1	2,25	50	17,93	50	17,93	
			Lv-D1	1,4	40	9,10	40	9,10	
	I.S.2		Bd-D1	0,56	40	3,64	40	3,64	
			Br-D1	0,7	90	10,30	90	10,30	
		LL-D6	4,62	40	30,03	40	30,03		
		Ba-D4	1,74	50	13,87	50	13,87		
	T3	I.S.1	Lv-D4	1,1	40	7,15	40	7,15	
			Bd-D4	1,2	40	7,80	40	7,80	
			Br-D4	1,76	90	25,91	90	25,91	
		I.S.2	Lv-CR1	0,7	40	4,55	40	4,55	
			Ba-CR1	1,14	50	9,09	50	9,09	
Bd-CR1			0,65	40	4,23	40	4,23		
CR1-D5			1,4	75	15,48	75	15,48		
Parte comum	Condomínio	I.S.	Br-D6	1	90	14,72	90	14,72	
			Lv-D6	0,92	40	5,98	40	5,98	

C 7 - Análise orçamental dos tubos de queda domésticos

Tubos de queda	Comprimento	Ventilação secundária apenas quando necessária		Ventilação secundária sempre que possível	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
D1	23	140	592,71	140	592,71
D2	23	140	592,71	140	592,71
D3	23	90	398,36	90	398,36
D4	23	140	592,71	140	592,71
D5	23	140	592,71	140	592,71
D6	23	110	457,47	110	457,47

C 8 - Análise orçamental das colunas de ventilação secundária

Coluna de ventilação	Comprimento	Ventilação secundária apenas quando necessária		Ventilação secundária sempre que possível	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
V1	22	110	183,26	110	183,26
V2	22	90	138,82	90	138,82
V3	22	-	-	110	183,26
V4	22	-	-	110	183,26
V5	22	-	-	110	183,26
V6	22	-	-	110	183,26

C 9 - Análise orçamental dos coletores domésticos

Coletores domésticos	Comprimento	t>2,45Pa e Dmin=100mm		Vmin=0,6m/s e Dmin=100mm		Vmin=0,6m/s e sem Dmin	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
C1	4,25	110	99,75	110	99,75	90	86,40
C2	1,8	140	54,79	140	54,79	140	54,79
C3	4,74	140	144,29	140	144,29	140	144,29
C4	1,80	140	54,79	140	54,79	140	54,79
C5	8,25	140	251,13	140	251,13	140	251,13
C6	6,4	140	194,82	140	194,82	140	194,82
C7	2	140	60,88	140	60,88	140	60,88
C8	6	110	140,82	110	140,82	110	140,82
C9	2,4	140	73,06	140	73,06	140	73,06
C10	2,9	160	98,86	160	98,86	160	98,86

C 10 - Análise orçamental das caleiras pluviais

Caleira	Comprimento	Vmin=0,9m/s		Vmin=0,6m/s	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
Ca1	7,4	140	85,1	160	92,5
Ca2	7,2	140	82,8	160	90
Ca3	7,4	140	85,1	160	92,5
Ca4	7,2	140	82,8	160	90
Ca5	3,75	40	33,75	40	33,75
Ca6	3,75	40	33,75	40	33,75
Ca7	5,7	110	62,13	140	65,55
Ca8	8,7	140	100,05	160	108,75
Gr1	3,35	50	30,82	50	30,82
Gr2	2,86	63	27,456	63	27,456

C 11 - Análise orçamental dos tubos de queda pluviais

Tubo de queda	Comprimento	Coletores pluviais com Dmin=100mm		Coletores pluviais sem Dmin	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
T1	21	50	211,47	50	211,47
T2	21	50	211,47	50	211,47
T3	21	50	211,47	50	211,47
T4	21	50	211,47	50	211,47
T5	1	75	13,69	75	13,69
T6	3	110	59,67	50	28,05
T7	3	110	59,67	50	28,05
T8	3	110	59,67	50	28,05
T9	3	110	59,67	50	28,1
T10	3	50	28,1	50	28,1

C 12 - Análise orçamental dos coletores pluviais

Coletor pluvial	Comprimento	Vmin=0,9m/s e Dmin=100mm		Vmin=0,6m/s e Dmin=100mm		Vmin=0,6m/s e sem Dmin	
		Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)	Diâmetro (mm)	Custo (€)
CP1	8,25	125	220,94	125	220,94	125	220,94
CP2	3,5	110	82,15	110	82,15	110	82,15
CP3	10,9	110	255,82	110	255,82	110	255,82
CP4	13,70	140	417,03	160	467,03	160	467,03
CP5	3,9	110	91,53	110	91,53	110	91,53
CP6	6,2	200	302,81	200	302,81	200	302,81
CP7	5,9	110	138,47	110	138,47	110	138,47
CP8	0,65	200	31,75	200	31,75	200	31,75
CP9	1	110	23,47	110	23,47	50	11,31
CP10	0,9	110	21,12	110	21,12	50	10,18
CP11	1,8	110	42,25	110	42,25	50	20,36
CP12	1,75	110	41,07	110	41,07	50	19,79
CP13	1,6	110	41,84	110	41,84	50	19,71
CP14	5,8	110	151,67	110	151,67	75	100,69
CP15	2,85	110	74,53	110	74,53	50	35,11
CP16	2,5	110	65,38	110	65,38	50	30,80
CP17	7,9	110	206,59	110	206,59	40	86,58
CP18	6,1	110	159,52	110	159,52	50	75,20
CP19	9,25	110	241,89	110	241,89	90	207,76
CP20	6,25	110	163,44	110	163,44	110	163,44
CP21	1,75	110	45,76	110	45,76	50	21,56
CP22	3,9	110	101,99	125	113,10	125	113,10
CP23	1,05	110	27,46	125	30,45	125	30,45

Anexo D – Custos de instalação

D 1 - Custo de instalação de caeiras pluviais em PVC

DN (mm)	Custo (€/m)
32	8,8
40	9
50	9,2
63	9,6
75	9,9
90	10,2
110	10,9
125	11,3
140	11,5
160	12,5
200	14,6
250	18,4
315	24,3

D 2 - Custo de instalação de tubos de quedas domésticos/pluviais exteriores em PVC

DN (mm)	Custo (€/m)
32	7,09
40	8,26
50	10,07
63	11,88
75	13,69
90	18,27
110	21,07
125	23,94
140	27,23
160	30,49
200	43,97
250	65,94
315	100,38

D 3 - Custo de instalação de tubos de quedas domésticos/pluviais interiores em PVC

DN (mm)	Custo (€/m)
32	6,47
40	7,64
50	9,35
63	11,18
75	13,01
90	17,32
110	19,89
125	22,6
140	25,77
160	28,93
200	42,24
250	63,96
315	98,02

D 4 - Custo de instalação de colunas de ventilação secundária

DN (mm)	Custo (€/m)
32	3,96
40	4,19
50	4,56
63	4,82
75	5,08
90	6,31
110	8,33
125	10,41
140	12,02
160	13,62
200	18,65

D 5 - Custo de instalação de ramais de descarga domésticos

DN (mm)	Custo (€/m)
32	5,5
40	6,5
50	7,97
63	9,52
75	11,06
90	14,72
110	16,86

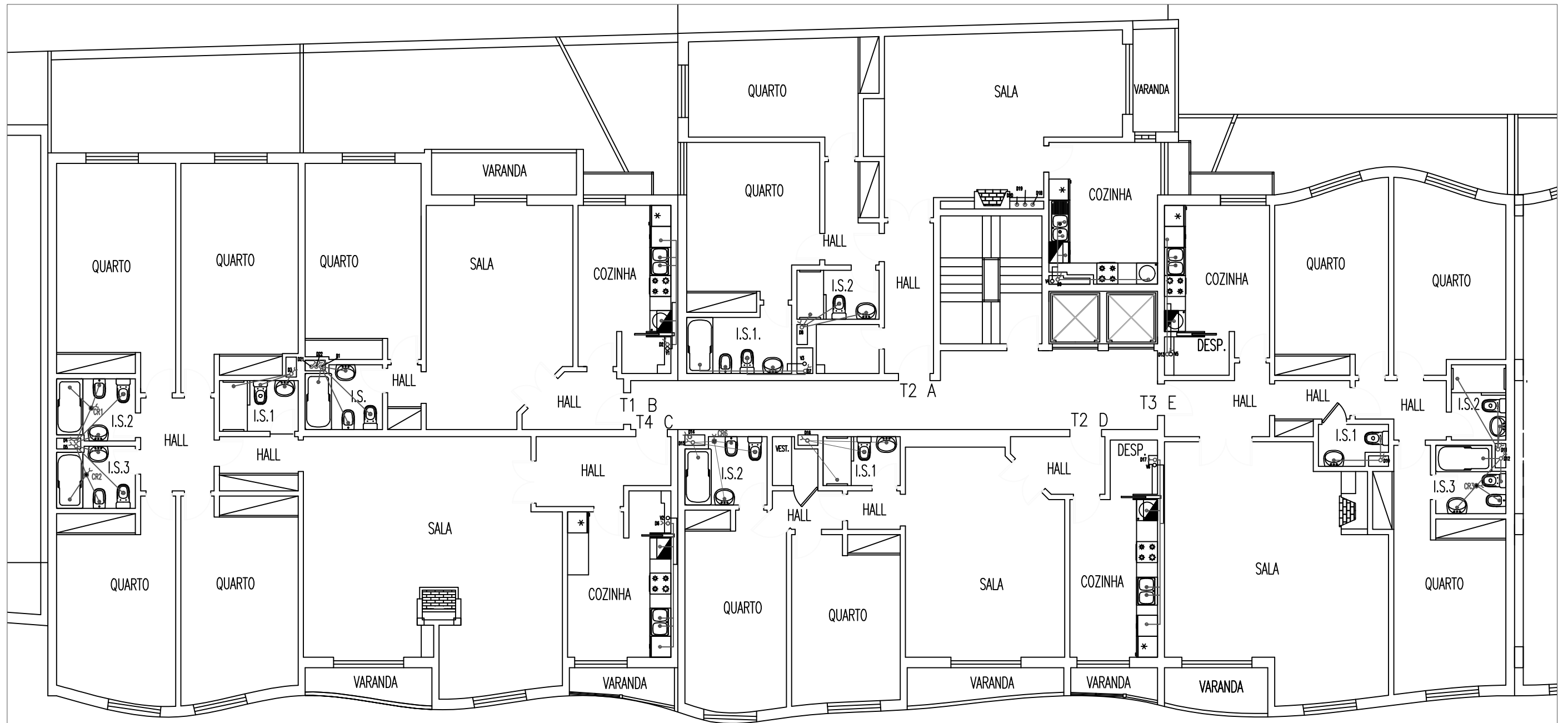
D 6 - Custo de instalação de um coletor doméstico/pluvial suspenso


DN (mm)	Custo (€/m)
32	8,03
40	9,33
50	11,31
63	13,35
75	15,39
90	20,33
110	23,47
125	26,78
140	30,44
160	34,09
200	48,84
250	72,85
315	110,42

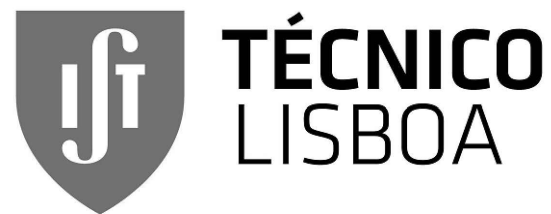
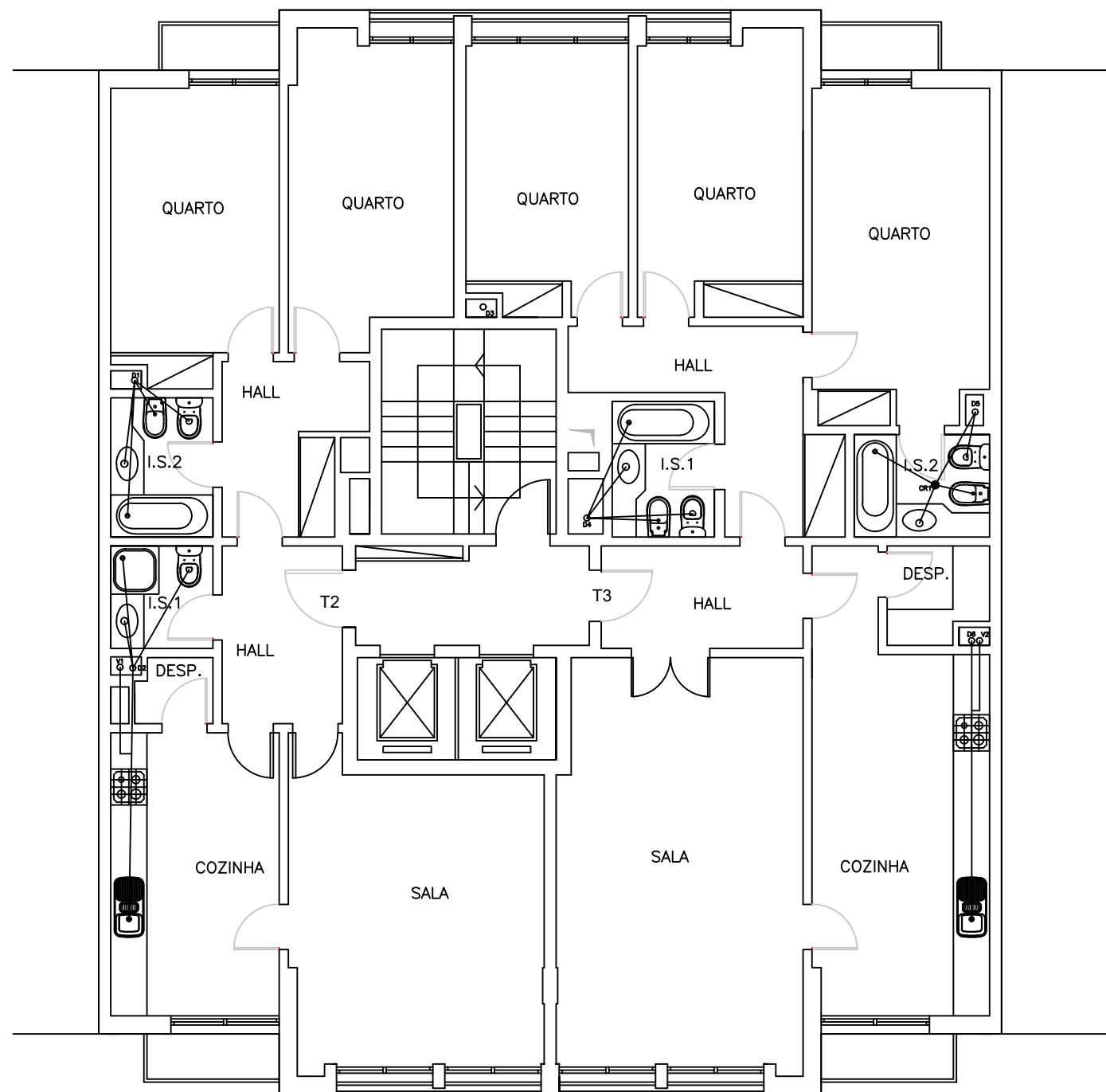
D 7 - Custo de instalação de um coletor doméstico/pluvial enterrado

DN (mm)	Custo (€/m)
32	9,87
40	10,96
50	12,32
63	14,53
75	17,36
90	22,46
110	26,15
125	29,00
140	32,66
160	36,31
200	50,92
250	74,06

Anexo E – Peças desenhadas



	<p align="center">Dissertação de Mestrado: A tensão de arrastamento em redes prediais de drenagem de águas residuais</p>	<p align="center">Escala 1:120</p>	<p align="center">Elaborado por: Pedro Guilherme Neves Charrua Nº 73435</p>
	<p>Localização da instalação dos ramais de descarga do caso de estudo 1.</p>		
<p>Instituto Superior Técnico</p>	<p align="center">Dimensões em metros</p>	<p align="center">Peça 1</p>	<p align="center">Novembro 2017</p>



Dissertação de Mestrado:
 A tensão de arrastamento em redes prediais de drenagem de águas residuais

Localização da instalação dos ramais de descarga do caso de estudo 2.

Escala

1:100

Elaborado por:
 Pedro Guilherme Neves Charrua
 N° 73435

Instituto Superior Técnico

Dimensões em metros

Peça

1

Novembro 2017