



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**



## **Estudo comparativo de soluções de materiais poliméricos em redes prediais de água e esgotos**

**ANDREIA SOFIA PARDAL**  
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil  
na Área de Especialização em Edificações

**Orientador:**

Mestre Paulo Alexandre Malta da Silveira, Eq. Prof. Adjunto (ISEL)

**Júri:**

**Presidente:**

Doutora Carla Maria Duarte da Silva e Costa, Prof. Coordenadora (ISEL)

**Vogais:**

Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Prof. Adjunta (ISEL)

Mestre Paulo Alexandre Malta da Silveira, Eq. Prof. Adjunto (ISEL)

**Dezembro de 2012**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**

**Estudo comparativo de soluções de materiais  
poliméricos em redes prediais de água e esgotos**

**ANDREIA SOFIA PARDAL**  
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil  
na Área de Especialização em Edificações

**Orientador:**

Mestre Paulo Alexandre Malta da Silveira, Eq. Prof. Adjunto (ISEL)

**Júri:**

**Presidente:**

Doutora Carla Maria Duarte da Silva e Costa, Prof. Coordenadora (ISEL)

**Vogais:**

Mestre Paulo Alexandre Malta da Silveira, Eq. Prof. Adjunto (ISEL)

Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Prof. Adjunta (ISEL)

**Dezembro de 2012**



## Resumo

O objetivo deste trabalho é estudar as tubagens de polímeros aplicadas nas redes prediais de águas e esgotos. A utilização deste tipo de material tem vindo a aumentar, mas o conhecimento por parte de projetistas e instaladores não tem vindo a acompanhar o ritmo de crescimento. Esta análise irá permitir um maior conhecimento dos materiais disponíveis e das suas características próprias, o que induz a uma escolha acertada e a uma instalação adequada.

No início do trabalho clarificou-se o significado e a origem dos polímeros, contando a sua história. Visitou-se a fábrica de tubos Fopil para pesquisar o processamento de polímeros. Explicou-se o fabrico de polímeros, que varia de acordo com as propriedades e aplicações desejadas.

Os tubos poliméricos disponíveis no mercado para abastecimento de águas e esgotos foram analisados em relação às suas características, vantagens e desvantagens e ligações disponíveis. Existem cuidados a ter no transporte, armazenamento e manuseamento dos tubos.

Após a análise das características técnicas, fez-se o estudo económico para os tubos existentes no mercado. Para isso foi considerado o abastecimento a um edifício multifamiliar com seis apartamentos. O projetista deve estar sempre informado, quer a nível tecnológico, quer a nível económico, para assim poder fazer a escolha mais acertada a nível de qualidade e a nível de preço.

Ao realizar este estudo concluiu-se que nas instalações de redes de abastecimento de águas, o PB é o que tem o preço mais atrativo e tem características ótimas. O PE-X tem o preço mais elevado, mas a sua qualidade não é proporcional ao seu preço. Nas instalações de redes de esgotos o material mais económico é o PP, que é o que apresenta as melhores características.

**Palavras-chave:** tubos plásticos, polímeros, redes prediais de águas e esgotos.



## Abstract

This work purpose is to study the polymeric pipes applied in building services of water supply and sewerage. The use of this material has been increasing, but knowledge on the part of designers and installers have not been following the growth rate. This research will allow a better understanding of the materials available and its characteristics, which leads to a right choice and a proper installation.

The beginning of the work clarifies the meaning and origin of polymers, telling his story. There was a visit to the factory pipe Fopil to explore the polymer processing. It was explained the manufacture of polymers, which varies according to the properties and desired applications.

The polymeric pipes available in the market for water supply and sewerage were investigated with respect to their characteristics, advantages and disadvantages and connections available. There are precautions to be taken in the transport, storage and handling of the pipes.

After the analysis of technical characteristics, was made the economic study for the pipes on the market. This was considered to supply a multifamily building with six apartments. The designer should always be aware, whether in technology, whether economically, so the best choice can be made in terms of quality and price level.

By performing this study it was concluded that in water supply systems facilities, PB is what is priced more attractive and has excellent characteristics. PE-X is priced higher, but its quality is not proportional to its price. In installations for sewerage, the most economical material is PP, that is the one with the best characteristics.

**Keywords:** plastic pipes, polymers, building services of water supply and sewerage.



## **Agradecimentos**

O presente trabalho não seria possível sem a contribuição de algumas pessoas e entidades a quem pretendo demonstrar o meu reconhecimento.

Ao Professor Paulo Malta da Silveira, orientador científico da presente dissertação, o meu agradecimento pelo seu acompanhamento e aconselhamento, que enriqueceram profundamente este estudo.

À Fopil, que se prestou a receber-me com muita simpatia e disponibilidade nas suas instalações fabris, o meu agradecimento.

Ao Eng.º Nelson Redondo, que me transmitiu conhecimentos sem os quais este trabalho não estaria completo, o meu agradecimento.



## Índice geral

Resumo .....	I
Abstract .....	II
Agradecimentos .....	III
Índice geral .....	IV
Índice de figuras .....	VI
Índice de gráficos .....	IX
Índice de tabelas .....	X
Siglas e abreviaturas .....	XII
1. Introdução .....	1
2. Polímeros .....	3
2.1. Origem e desenvolvimento .....	3
2.2. Conceito de polímero .....	9
2.3. Características gerais e aplicações .....	9
2.4. Polimerização .....	10
2.4.1. Polimerização por adição .....	11
2.4.2. Polimerização por condensação .....	11
2.5. Classificação .....	12
2.5.1. Termoplásticos .....	12
2.5.2. Termoendurecíveis .....	12
2.5.3. Elastómeros .....	13
2.6. Aditivos .....	13
2.7. Processamento .....	16
2.7.1. Processamento de termoplásticos .....	18
2.7.2. Processamento de termoendurecíveis .....	23
3. Plásticos utilizados nas redes prediais de águas e esgotos .....	25
3.1. Polietileno de alta densidade (PEAD) .....	25
3.1.1. Características .....	25
3.1.2. Vantagens e desvantagens .....	30
3.1.3. Ligações .....	30
3.2. Polietileno reticulado (PE-X) .....	37
3.2.1. Características .....	37
3.2.2. Vantagens e desvantagens .....	39
3.2.3. Ligações .....	41



3.3.	Polipropileno (PP).....	43
3.3.1.	Caraterísticas .....	43
3.3.2.	Vantagens e desvantagens .....	47
3.3.3.	Ligações.....	48
3.4.	Polibutileno (PB).....	54
3.4.1.	Caraterísticas .....	54
3.4.2.	Vantagens e desvantagens .....	56
3.4.3.	Ligações.....	56
3.5.	Policloreto de vinilo (PVC) .....	58
3.5.1.	Caraterísticas .....	58
3.5.2.	Vantagens e desvantagens .....	62
3.5.3.	Ligações.....	64
4.	Transporte, armazenamento e manuseamento.....	68
5.	Análise económica.....	72
5.1.	Redes de abastecimento de águas.....	72
5.1.1.	Tubos de PEAD.....	72
5.1.2.	Tubos de PVC-U .....	73
5.1.3.	Tubos de PVC-C .....	74
5.1.4.	Tubos de PE-X.....	75
5.1.5.	Tubos de PP.....	77
5.1.6.	Tubos de PB.....	78
5.1.7.	Conclusões.....	79
5.2.	Redes de esgotos residuais e pluviais.....	80
5.2.1.	Tubos de PEAD.....	80
5.2.2.	Tubos de PVC-U .....	82
5.2.3.	Tubos de PP.....	84
5.2.4.	Conclusões.....	86
6.	Conclusões finais.....	87
7.	Trabalhos futuros.....	89
	Bibliografia.....	90
	Anexo 1 .....	A1-1
	Anexo 2 .....	A2-1



## Índice de figuras

Fig. 1 - Christian Friedrich Schönbein [6] .....	4
Fig. 2 - Alexander Parkes [7].....	4
Fig. 3 - John Wesley Hyatt [8] .....	5
Fig. 4 - Leo Hendik Baekeland [9].....	6
Fig. 5 - Hermann Staudinger (esq.) e Hume Carothers (dir.) [10][11].....	6
Fig. 6 – Resina de PVC em pó na FOPIL.....	16
Fig. 7 – Formas adquiridas após polimerização [14].....	17
Fig. 8 – Processo de injeção [23].....	18
Fig. 9 – Processo de extrusão [23].....	19
Fig. 10 – Alimentação de resina de PVC na FOPIL .....	19
Fig. 11 – Extrusora na FOPIL .....	20
Fig. 12 – Arrefecimento dos tubos na FOPIL .....	20
Fig. 13 – Saída de tubo de PVC na FOPIL .....	20
Fig. 14 – Processo de moldagem por sopro [23].....	21
Fig. 15 – Moldagem mecânica [24] .....	22
Fig. 16 – Moldagem por vácuo [24].....	22
Fig. 17 – Moldagem por ar comprimido [24].....	22
Fig. 18 – Moldagem por compressão [25].....	23
Fig. 19 – Moldagem por transferência [25].....	24
Fig. 20 – Tubos de polietileno para a condução de água potável.....	27
Fig. 21 – Tubos de polietileno para a condução de águas não potáveis ou outros líquidos [31] .....	28
Fig. 22 – Ligação através de soldadura topo a topo [35].....	31
Fig. 23 – Principais acessórios de PE para soldadura topo a topo [36].....	31
Fig. 24 – Corte do tubo em esquadria [37].....	32
Fig. 25 – Realização de uma união por soldadura topo a topo [37].....	32
Fig. 26 – Ligação através de soldadura por eletrofusão [38].....	33
Fig. 27 - Principais acessórios de PP eletrossoldáveis [36].....	33
Fig. 28 – Raspagem das extremidades do tubo de PE [38] .....	34
Fig. 29 – Colocação do tubo de PE no interior do acessório [38] .....	34
Fig. 30 – Máquina de soldadura automática [38].....	34
Fig. 31 – Ligação através de sistemas mecânicos .....	35
Fig. 32 - Principais acessórios de PP para ligação mecânica [36].....	35
Fig. 33 – Montagem da série <i>performance</i> [36].....	36



Fig. 34 – Montagem da série <i>standard</i> [36].....	36
Fig. 35 – Tubos de PE-X.....	37
Fig. 36 – Manga corrugada.....	40
Fig. 37 – Caixa de coletores de tubos PE-X.....	40
Fig. 38 – Instalação de tubos PE-X.....	40
Fig. 39 – Anéis metálicos e plásticos para tubos de PE-X [44].....	41
Fig. 40 – Abraçadeira metálica para tubos de PE-X [45].....	41
Fig. 41 – Acessórios de pressão para tubos de PE-X [46] .....	42
Fig. 42 – Montagem de PE-X utilizando anéis [45].....	42
Fig. 43 – Montagem de PE-X utilizando abraçadeiras metálicas [45].....	43
Fig. 44 – Montagem de PE-X utilizando acessórios de conexão rápida [46] .....	43
Fig. 45 – Tubos de polipropileno para abastecimento de águas .....	44
Fig. 46 - Instalação de tubos de polipropileno.....	48
Fig. 47 – Soldadura topo a topo de tubos de polipropileno [51].....	49
Fig. 48 – Corte em esquadria de tubos de polipropileno [51] .....	49
Fig. 49 – Procedimento de soldadura topo a topo em tubos de polipropileno [51].....	50
Fig. 50 – Soldadura por fusão de tubos de polipropileno .....	50
Fig. 51 – Máquina polifusora.....	51
Fig. 52 – Acessórios de ligação de polipropileno para soldadura por fusão .....	51
Fig. 53 – Corte do polipropileno e colocação na polifusora [53] .....	52
Fig. 54 – Inserção do tubo de polipropileno no acessório [53].....	52
Fig. 55 – Raspagem do tubo de polipropileno com raspador [53] .....	53
Fig. 56 – Raspagem do tubo de polipropileno com fresadora [51] .....	53
Fig. 57 – Marcação da profundidade nos tubos de polipropileno [53].....	53
Fig. 58 – Execução de eletrossoldadura em tubos de polipropileno [53].....	54
Fig. 59 – União de polipropileno com anel elastómero [46].....	54
Fig. 60 – Tubo de polibutileno [54].....	55
Fig. 61 – Corte do tubo de PB [54].....	57
Fig. 62- Inserção do casquilho no tubo de PB [54].....	57
Fig. 63 – Lubrificação do interior do acessório de PB [54] .....	58
Fig. 64 – Inserção do tubo de PB no acessório [54].....	58
Fig. 65 – Tubos de policloreto de vinilo.....	59
Fig. 66 - Instalação de tubos de PVC-U.....	63
Fig. 67 – Abocardamento com anel de estanquidade [55] .....	64
Fig. 68 – Limpeza da ranhura [39] .....	65
Fig. 69 – Lubrificação da extremidade [39] .....	65
Fig. 70 – Inserção do tubo [39] .....	65



Fig. 71 – Aplicação da cola no elemento macho [39] .....	66
Fig. 72- Aplicação da cola no abocardado [39] .....	66
Fig. 73 – União das extremidades [39].....	67
Fig. 74 – Remoção do excesso de cola [39] .....	67
Fig. 75 – Armazenamento de tubos [55] .....	69
Fig. 76 – Empilhamento de tubos [62].....	69
Fig. 77 – Descarregamento de tubos de forma errada [62] .....	70
Fig. 78 – Descarregamento de tubos de forma correta [62] .....	70
Fig. 79 – Transporte de tubos de forma errada [62] .....	70
Fig. 80 – Transporte de tubos de forma correta [62] .....	71
Fig. 81 – Arrastamento de tubo [62].....	71



## Índice de gráficos

Gráfico 1 – Produção mundial de plásticos (milhões de toneladas) [3][14].....	7
Gráfico 2 – Fabrico de alguns materiais plásticos [13] .....	8
Gráfico 3 – Procura de materiais plásticos na Europa em 2009 [14].....	8



## Índice de tabelas

Tabela 1 – Produção mundial de alguns materiais (milhões de toneladas/ano) [3] .....	7
Tabela 2 – Densidade das diferentes classes de polietileno [27] .....	25
Tabela 3 – Valor de MRS e $\sigma_s$ dependendo do tipo de polietileno [28].....	26
Tabela 4 – Coeficientes de redução da pressão [27] .....	27
Tabela 5 – Espessura de parede dos tubos de polietileno [28] .....	28
Tabela 6 – Espessura de parede dos tubos de polietileno (continuação) [28].....	29
Tabela 7 – Marcação mínima requerida para tubos de polietileno [28] [30].....	29
Tabela 8 – Classificação das condições de serviço para os tubos de PE-X [42].....	38
Tabela 9 – Dimensões dos tubos de PE-X de classe A [43] .....	38
Tabela 10 - Marcação mínima requerida para tubos de PE-X [43].....	39
Tabela 11 – Classificação das condições de serviço do PP para abastecimento de águas [47].....	45
Tabela 12 – Dimensões dos tubos de PP da classe A para abastecimento de águas [47] .....	45
Tabela 13 – Diâmetro exterior médio dos tubos de PP para esgotos [49].....	46
Tabela 14 – Marcação mínima requerida para tubos de PP para abastecimento de águas [47].....	46
Tabela 15 - Marcação mínima requerida para tubos de PP para esgotos [49].....	47
Tabela 16 – Dimensões dos tubos de PP da classe A para abastecimento de águas [55] .....	55
Tabela 17 – Marcação mínima requerida para tubos de PB para abastecimento de águas [55].....	56
Tabela 18 – Diâmetro exterior nominal e tolerâncias de tubos de PVC-U para abastecimento de água ou esgoto sob pressão [56].....	59
Tabela 19 – Diâmetros exteriores médios (séries métricas) de tubos de PVC-U para esgoto [57].....	60
Tabela 20 – Diâmetros e espessuras de parede de tubos de PVC-C para abastecimento de água [58].....	60
Tabela 21 – Diâmetros exteriores médios (séries métricas) de tubos de PVC-C para esgoto [59].....	61
Tabela 22 – Marcação mínima requerida para os tubos e acessórios de PVC-U para águas ou esgoto sob pressão [60] .....	61
Tabela 23 - Marcação mínima requerida para os tubos e acessórios de PVC-U para esgoto [60].....	61
Tabela 24 – Mínima marcação requerida para tubos de PVC-C para abastecimento de águas [58].....	62
Tabela 25 – Marcação mínima exigida para os tubos de PVC-C para esgoto [59].....	62
Tabela 26 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PEAD.....	73
Tabela 27 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PVC-U .....	74
Tabela 28 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PVC-C .....	75
Tabela 29 - Orçamento de rede de abastecimento de águas quentes em PVC-C .....	75
Tabela 30 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PE-X.....	76
Tabela 31 - Orçamento de rede de abastecimento de águas quentes em PE-X .....	77
Tabela 32- Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PP.....	77



Tabela 33 - Orçamento de rede de abastecimento de águas quentes em PP .....	78
Tabela 34 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PB.....	79
Tabela 35 - Orçamento de rede de abastecimento de águas quentes em PB.....	79
Tabela 36 - Orçamento de esgotos residuais e pluviais em PEAD.....	82
Tabela 37 - Orçamento de esgotos residuais e pluviais em PVC-U .....	84
Tabela 38 - Orçamento de esgotos residuais e pluviais em PP .....	85



## **Siglas e abreviaturas**

CEN: Comité Europeu de Normalização

EN: Norma Europeia

INE: Instituto Nacional de Estatística

LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MRS: Tensão Mínima Requerida

NP: Norma Portuguesa

PB: Polibutileno

PE: Polietileno

PEAD: Polietileno de Alta Densidade

PEBD: Polietileno de Baixa Densidade

PEMD: Polietileno de Média Densidade

PE-X: Polietileno Reticulado

PP: Polipropileno

PP-B: Polipropileno em Bloco

PP-H: Polipropileno Homopolímero

PP-R: Polipropileno *Random*

PVC: Policloreto de vinilo

PVC-C: Policloreto de Vinilo Clorado

PVC-U: Policloreto de Vinilo Não Plastificado

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



## 1. Introdução

Os polímeros são utilizados em variadas áreas da construção civil e a sua utilização tem vindo a crescer nos últimos anos. Uma das áreas em que a sua aplicação é mais vulgar é nas redes prediais de águas e esgotos.

Os materiais utilizados na primeira metade do séc. XX nas redes prediais de águas e esgotos eram geralmente do tipo rígido, podiam ser metálicos ou não. Nos esgotos o material mais vulgar era o grés, mas o ferro fundido e o fibrocimento tinham também alguma aplicação. Os materiais metálicos dominavam as redes de águas. Eram muito usuais as ligações com chumbo, mas os malefícios na saúde pública levaram à erradicação do metal nos anos 50, em novas instalações e se possível à substituição das existentes. Na década de 60/70 apareceram no mercado nacional as tubagens de plástico, com os materiais polietileno (PE) e policloreto de vinilo (PVC). O Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), publicado na segunda metade do século passado, já incluía estas tubagens, desde que homologadas pelo LNEC. O PVC não teve sucesso nas redes interiores de águas por ser inadequado para águas quentes. Finalmente apareceram as novas gerações de materiais plásticos como o polietileno reticulado (PE-X), o policloreto de vinilo clorado (PVC-C), o polibutileno (PB) e o polipropileno (PP). Neste momento a utilização de tubos multicamada, em que se juntam as características de tubos metálicos e plásticos em camadas de diferentes materiais, está muito em voga.[1]

As instalações prediais de águas e esgotos são, a nível nacional, uma das principais causas de problemas em edifícios, quer se trate de construção antiga ou recente. Alguns estudos apontam a distribuição de água e a drenagem de águas residuais domésticas e pluviais como a base de pelo menos 90 % dos problemas detetados em edifícios.[1]

Existem alguns estudos que indicam que o projeto é o principal responsável pelas causas das situações patológicas em edifícios, com um valor de cerca de 45 %. O segundo responsável, com um valor de cerca de 25 %, são as deficiências de execução em obra. Conclui-se assim que uma melhor capacidade técnica do projetista traduzir-se-á num melhor desempenho dos sistemas. Quando se selecionam os materiais devem-se ter em conta não só fatores de ordem económica e de condições de aplicação, mas também a composição química das águas a transportar e a sua temperatura, porque o comportamento dos materiais é diferente em função desses



aspectos. Se a seleção dos materiais e equipamentos não for adequada, a prazo, irão existir encargos económicos adicionais com obras de reabilitação. Reveste-se portanto de importância o conhecimento dos materiais com os quais se trabalha.[2]

O presente trabalho tem como objetivo o estudo das tubagens de polímeros aplicadas nas redes prediais de águas e esgotos, de forma a se obterem conclusões que facilitem a escolha dos materiais a aplicar, por parte dos técnicos responsáveis.

Na seleção de materiais para as canalizações a escolha deverá recair sobre os que sejam fiáveis, tenham uma durabilidade de serviço a longo prazo e apresentem uma boa relação custo-benefício. Assim sendo, proceder-se-á à análise destes critérios.



## 2. Polímeros

### 2.1. Origem e desenvolvimento

Os polímeros têm a sua origem na natureza, entrando na constituição dos seres vivos e existindo desde o início da vida na terra. O homem molda polímeros orgânicos naturais desde os tempos mais antigos, mas muitos dos produtos obtidos eram pouco resistentes ou duráveis para algumas aplicações, pelo que recorria também aos metais, cerâmicas e vidro. Os polímeros naturais satisfaziam várias necessidades básicas do ser humano servindo de roupa, abrigo e comida. Serviam também para comunicação, música, decoração, guerra e recreação. Alguns desses polímeros naturais são algodão, lã, seda, linho, pele, madeira, amido, proteínas, papiros, canas, âmbar e borracha.[3][4]

Para fazer os artigos mais comuns do quotidiano, o homem utilizou produtos naturais até meados do séc. XIX, quando se fizeram tentativas para alterar quimicamente alguns polímeros naturais. O objetivo seria aperfeiçoar as características dos polímeros naturais ou alterá-las de forma a descobrir substitutos das substâncias naturais, que eram cada vez mais dispendiosas e mais escassas. É interessante constatar nas histórias que se seguem, que as descobertas são muitas das vezes feitas por um acaso.[4][5]

No ano de 1846, Schönbein (fig. 1) espalhou acidentalmente uma mistura agressiva de ácido sulfúrico e ácido nítrico na sua cozinha. Sabendo o dano que isso poderia causar, apanhou a primeira coisa que estava à mão para limpar, um avental de algodão da sua esposa. Receando a reação da esposa, foi imediatamente lavar o avental em água corrente e pendurou-o perto do fogão para secar. Pouco tempo depois o avental inflamou-se e ardeu convertendo-se em pó. O que aconteceu foi que a celulose, relativamente inerte, transformou-se em nitrato de celulose. Formou-se um composto em que alguns dos grupos hidroxilos (-OH) do polímero celulose converteram-se em grupos nitrato (-O-NO<sub>2</sub>), servindo o ácido sulfúrico de catalisador. Foi assim que Schönbein, com a sua descoberta, abriu as portas para os materiais poliméricos.[5][6]

Em 1862, tendo conhecimento da existência de uma substância denominada nitrato de celulose, Alexander Parkes (fig. 2) produziu um novo material que se poderia usar em estado fluido, plástico ou sólido. O nome comercial deste polímero semi-sintético era *parkesine*. Apesar de o produto só ter tido êxito comercial vinte anos depois, 1862



é considerado o ano do nascimento da indústria moderna de plásticos. Alexander Parkes apresentou nesse ano, na grande exposição de Londres, alguns objetos feitos de *parkesine*. O insucesso da comercialização da *parkesine*, por parte de Alexander Parkes, pensa-se ter sido causado pela sua inflamabilidade, utilização de materiais de pouca qualidade para que o produto fosse barato e aceleração do processo de fabrico, o que levou a um mau comportamento da *parkesine*. [1][4]



Fig. 1 - Christian Friedrich Schönbein<sup>1</sup> [6]

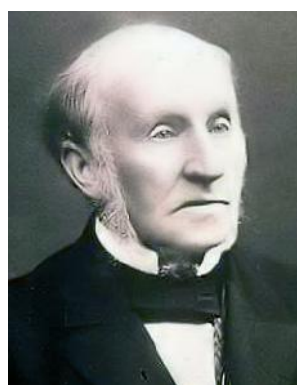


Fig. 2 - Alexander Parkes<sup>2</sup> [7]

Na década de 60 do século XIX a procura mundial por marfim era muito elevada, cerca de cem mil elefantes eram mortos anualmente, assim como um grande número de caçadores. Com receio da possível extinção dos elefantes e consequentemente do marfim, a firma *Phelan and Collander* sediada em *New England*, atribuiu um prémio de dez mil dólares em ouro a quem conseguisse produzir um substituto adequado para fabricar as bolas de bilhar. Um impressor americano, de nome John Wesley Hyatt (fig. 3), encontrou uma garrafa tombada que continha colódio, uma solução de nitrato de celulose em éter e álcool que os impressores utilizavam para cobrir as pontas dos dedos, de modo a não serem queimadas durante a execução do trabalho. O conteúdo

<sup>1</sup>Químico alemão (1799-1868) conhecido pela identificação do ozono e inventor do nitrato de celulose [6]

<sup>2</sup>Químico e metalúrgico britânico (1813 – 1890) conhecido como o inventor do plástico [7]

da garrafa estava derramado e tinha-se tornado numa camada dura, flexível e sólida. Ao verificar o que tinha ocorrido, John Hyatt pensou em experimentar utilizar esse material como substituto do marfim. Apesar de ter conseguido produzir as bolas de bilhar, estas tinham um defeito, quando colidiam com força explodiam. Para diminuir os problemas de inflamabilidade deste material, utilizou menores teores de nitrogénio e adicionou-lhe cânfora, obtendo o celuloide, que foi comercializado com êxito após 1870. John Hyatt e o irmão formaram a firma *Albany Dental Plate*, que começou por produzir placas dentárias, mas logo no ano seguinte mudou de nome para *The Celluloid Manufacturing Company*, que foi a primeira fábrica a produzir o celuloide industrialmente.[3][5]

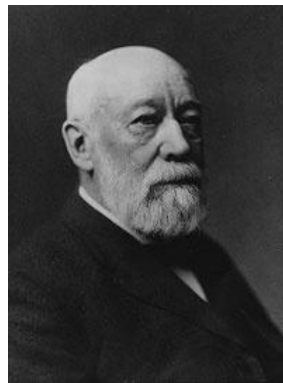


Fig. 3 - John Wesley Hyatt<sup>3</sup> [8]

Até ao início do séc. XX não houve grande evolução dos materiais plásticos, pois o conhecimento científico sobre estes materiais não era suficiente. No princípio do século XX, a indústria química passou a ser uma das indústrias mais importantes. Embora a produção de polímeros totalmente sintéticos tivesse ocorrido antes da primeira guerra mundial, não teve êxito repentino.[3]

Leo Hendik Baekeland (fig. 4) patenteou e produziu o primeiro polímero totalmente sintético na primeira década do século XX, usualmente chamado de *bakelite*. Este produto tratava-se de uma resina composta por vários fenóis ( $C_6H_5OH$ ), aquecida com formaldeído ( $CH_2O$ ) sob pressão. O resultado foi um plástico insolúvel e duro, inerte à ação de solventes e um bom isolante elétrico e térmico. Baekeland foi um dos fundadores da indústria de polímeros sintéticos e o primeiro empresário com êxito nesta indústria, aquando da sua morte a produção mundial de *bakelite* já tinha atingido as 175 mil toneladas anuais.[3][5]

Hermann Staudinger e Hume Carothers (fig.5), no início dos anos 20 e durante os anos 30, respectivamente, contribuíram para a evolução das teorias químicas da

---

<sup>3</sup> Inventor norte-americano (1837 - 1920) [7]



polimerização. Este facto e o progresso da tecnologia de altas pressões foram importantes para a evolução dos plásticos comerciais.[3]

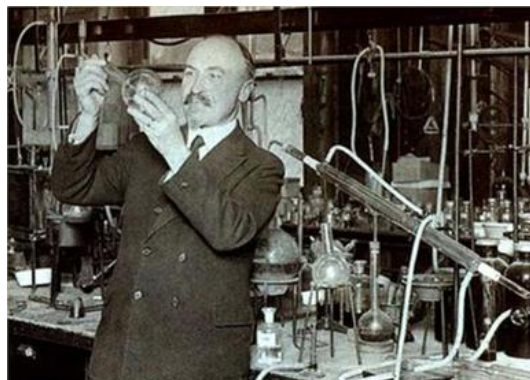


Fig. 4 - Leo Hendik Baekeland<sup>4</sup> [9]



Fig. 5 - Hermann Staudinger<sup>5</sup> (esq.) e Hume Carothers<sup>6</sup> (dir.) [10][11]

O *nylon* e o processo de polimerização por condensação foram inventados por Wallace Carothers no ano de 1934. A maioria dos polímeros com importância comercial atual, como por exemplo o policloreto de vinilo (PVC), o polietileno (PE) e o poliestireno (PS) foram lançados no mercado entre 1925 e 1945.[3][5]

O termo plástico<sup>7</sup> será considerado ao longo do texto como “material sintético que se caracteriza por ser facilmente moldado, por efeito do calor, da pressão, de solventes, ou da sua combinação, em certa fase da sua produção”. [7]

No gráfico 1 tem-se o progresso da produção mundial de plásticos até ao ano de 1975, de onde se conclui que existiu um crescimento fraco até ao final Segunda Guerra Mundial aproximadamente, tornando-se depois num crescimento avassalador.

<sup>4</sup>Químico norte-americano de origem belga (1863-1944) [9]

<sup>5</sup>Químico alemão, prémio nobel da química em 1953, pelas suas descobertas no campo da química macromolecular (1881-1965) [10]

<sup>6</sup>Químico norte-americano (1896 -1937) [11]

<sup>7</sup>Para além do significado mencionado, este termo refere-se também a algo com plasticidade, que é a propriedade física segundo a qual alguns materiais se deformam, aquando da ação de uma força exterior, sem perder a sua coesão, conservando a forma obtida mesmo depois de a força deixar de atuar.



Na tabela 1 verifica-se que os materiais plásticos se desenvolveram muito mais que outros materiais no pós-guerra.[3]

Entre 1970 e 1990 aumentou a produção e desenvolvimento de novos métodos para fabricar o plástico, o que levou à descida do preço, melhoria da qualidade e à substituição de outros materiais, como por exemplo madeira e metal, nalgumas das suas aplicações prévias. Entre 1990 e 2000 foram desenvolvidos novos polímeros, possuindo propriedades especiais como elevada resistência térmica, baixa inflamabilidade e materiais biodegradáveis e biocompatíveis. Foram também desenvolvidos vários catalisadores, que melhoraram significativamente as características de muitos polímeros, aumentando ainda mais as virtudes dos plásticos.[12][4]

De 1,5 milhões de toneladas em 1950, a produção total mundial de plásticos atingiu os 245 milhões de toneladas em 2008. Este crescimento sucessivo foi revertido nesse ano devido à crise financeira global, que afetou praticamente todos os sectores.[14]

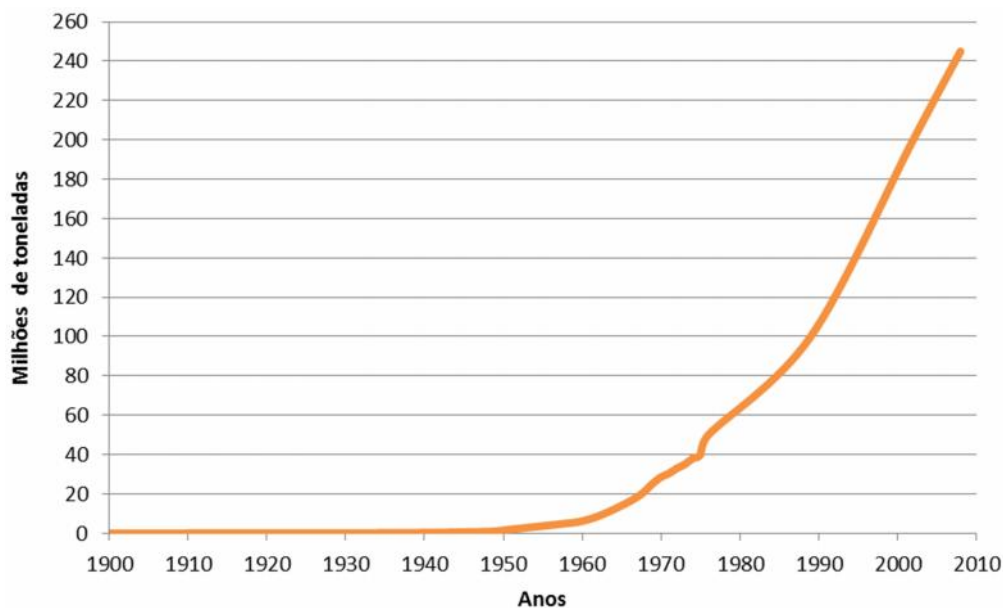


Gráfico 1 – Produção mundial de plásticos (milhões de toneladas) [3][14]

	1900	1913	1936	1938	1950	1960	1970	1980
Plásticos	0	0,04	0,250	0,3	1,5	5,7	27,0	40,0
Borracha sintética	0	-	0,005	0,01	0,5	1,9	4,5	7,7
Fibras sintéticas	-	-	-	-	0,12	0,65	4,5	8,4
Alumínio	0,007	0,7	0,366	0,5	1,3	3,6	8,1	11,2
Zinco	0,479	0,8	1,479	1,4	1,8	2,4	4,0	4,8
Cobre	0,499	1,0	1,673	1,8	2,3	3,7	6,1	8,4
Borracha natural	0,052	0,12	0,869	0,92	1,9	2,0	2,9	3,7
Algodão	-	-	-	5,2	6,0	7,1	7,7	9,1
Lã	-	-	-	1,6	1,7	2,1	2,2	2,2

Tabela 1 – Produção mundial de alguns materiais (milhões de toneladas/ano) [3]



O fabrico em Portugal de alguns produtos plásticos, nos últimos anos, de acordo com o Instituto Nacional de Estatística, é o apresentado no gráfico 2.

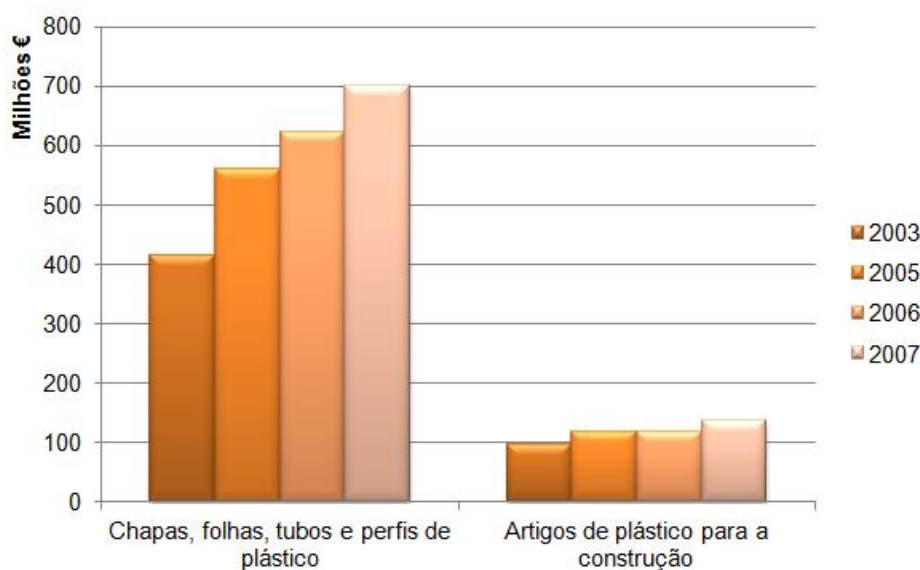


Gráfico 2 – Fabrico de alguns materiais plásticos [13]

A maior procura de materiais plásticos por parte da Europa (gráfico 3) provém da indústria de embalagens, que representa 40,1% do total. Em segundo lugar está a construção civil, com 20,4%. Segue-se o segmento automóvel (7,0%), o equipamento elétrico e eletrónico (5,6%) e outros (26,9%). Na secção outros estão incluídos pequenos segmentos como desporto, lazer, agricultura, máquinas, etc.

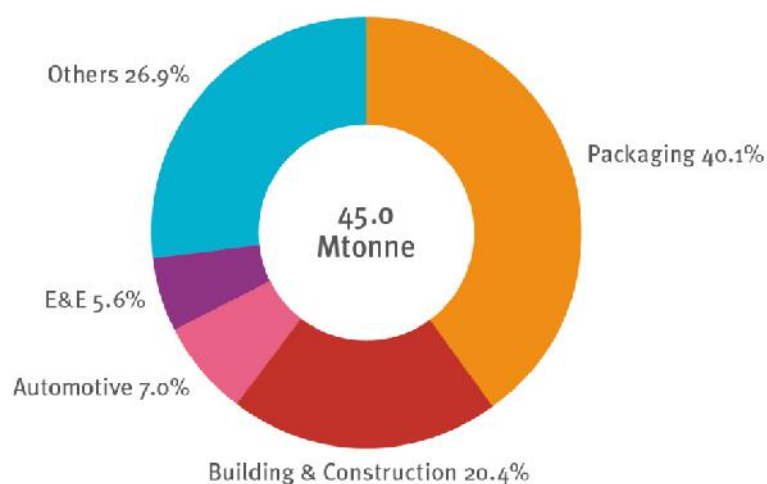


Gráfico 3 – Procura de materiais plásticos na Europa em 2009 [14]



## 2.2. Conceito de polímero

A palavra polímero significa “muitas partes”, que neste caso designa as unidades moleculares, que estão ligadas quimicamente entre si de modo a formar um sólido. Essas unidades moleculares, denominadas de monómeros, repetem-se várias vezes, criando uma macromolécula. Os polímeros podem ser naturais ou sintéticos, mas para o caso em estudo interessam os sintéticos, que são normalmente chamados de plásticos.[2][7]

Os plásticos são um grupo de materiais sintéticos muito variado, processados por moldagem ou enformação, para se obter a forma desejada. Existem muitos tipos de plásticos, que podem ser divididos em duas classes dependendo do modo de ligação química e estrutural, termoplásticos e termoendurecíveis.[2]

As matérias-primas utilizadas para o fabrico dos plásticos são maioritariamente o petróleo em bruto, o gás natural e o carvão, podendo ser utilizadas outras, mas são pouco competitivas no que diz respeito ao preço. A quantidade de matéria-prima utilizada na produção dos plásticos corresponde a 4% de todo o petróleo e gás natural produzido na Europa.[3][4][15]

Os polímeros sintéticos são obtidos através do processo de polimerização, que consiste na reação química que transforma pequenas moléculas em polímeros. Tendo em conta os tipos de átomos que contêm e o número e arranjo espacial destes, os polímeros serão quimicamente diferentes uns dos outros.[3][4]

Se os monómeros que compõem um polímero são de um só tipo, este designa-se homopolímero. Se o polímero for constituído por mais do que um tipo de monómero, é denominado copolímero.[16][4]

## 2.3. Características gerais e aplicações

Os plásticos possuem propriedades notáveis e por isso tem crescido a sua utilização em variadas aplicações, sendo impossível olhar em redor sem o encontrar. Isto deve-se ao seu baixo custo quando comparado com materiais alternativos, assim como a desempenhar melhor a função desejada.[3]

Algumas das aplicações mais importantes são na indústria de embalagens, construção civil, transportes, elétrica e eletrónica, agricultura, medicina e saúde,



desporto, lazer, *design*, entre outras. As suas vantagens e desvantagens em relação a outros materiais como metais, cerâmicas e madeira são:[4][15][14]

#### Vantagens:

- Facilidade de fabrico a baixa temperatura;
- Baixa densidade;
- Relativamente barato;
- Grande resistência à corrosão;
- Resistência e rigidez elevada tendo em conta o seu peso;
- Baixa condutividade térmica;
- Resistência elétrica elevada;
- Higiénico e asséptico;
- Acabamento bastante liso;
- Minimização da manutenção.

#### Desvantagens:

- Baixa resistência à compressão, ao corte e a cargas aplicadas;
- Limitações na exposição a temperaturas elevadas durante longos períodos de tempo;
- Envelhecimento e desgaste devido à exposição no exterior ou em determinados ambientes;
- Efeito de fadiga quando sujeito a tensões cíclicas ou a tensões médias uniformes;
- Poderá ser danificado por solventes;
- Coeficiente de dilatação linear elevado;
- Poderá ser inflamável ou a sua combustão provocar gases tóxicos.

## **2.4. Polimerização**

Na reação de polimerização as moléculas do monómero reagem quimicamente formando cadeias lineares ou uma rede tridimensional. Usualmente são considerados dois mecanismos essenciais de polimerização, por adição ou por condensação. Os polímeros de adição formam-se através de adições consecutivas de monómeros repetidos, enquanto os de condensação se produzem ao se adicionarem monómeros



diferentes, gerando-se um subproduto. A reação de polimerização pode ser representada por:[17][18][19]



onde,

n – número de monómeros (índice de polimerização ou ordem do polímero);

X – monómero (unidade de repetição do polímero);

$(X)_n$  – polímero.

#### **2.4.1. Polimerização por adição**

A polimerização por adição sucede quando o monómero original contém uma ligação dupla covalente entre os átomos de carbono. É o caso do etileno ( $H_2C=CH_2$ ), que após a polimerização se transforma em polietileno. A polimerização acontece devido a um mecanismo radicalar que forma radicais livres que propagam a reação de adição. Para que a reação comece é necessário um radical, denominado de iniciador, que pode ser adicionado ou formado através da ação do calor, de um solvente ou de irradiação. A reação termina por combinação entre duas cadeias em crescimento ou por desproporcionação, ou seja, a abstração de um átomo de hidrogénio de uma cadeia próxima.[17][19]

#### **2.4.2. Polimerização por condensação**

A polimerização por condensação acontece por etapas e trata-se da junção de dois monómeros distintos que reagem entre si. Desta reação sobra um produto que resulta da reação entre dois grupos, que foram separados dos monómeros e cuja quebra de ligações dá origem a pontos de ligação que vão causar a propagação da polimerização. Um exemplo deste tipo de polimerização é a formação do poliéster.[16][17]



## 2.5. Classificação

O método normalmente utilizado para classificar os polímeros tem em conta o modo como estão ligados química e estruturalmente, o que influencia o seu comportamento térmico e mecânico. Assim sendo, as principais categorias são os termoplásticos, os termoendurecíveis e os elastómeros.[2][18]

### 2.5.1. Termoplásticos

Os termoplásticos são constituídos por longas cadeias lineares ou ramificadas, flexíveis e têm um comportamento plástico. Para serem moldados necessitam de calor, que os transforma num fluxo viscoso e após o arrefecimento voltam ao estado sólido, mantendo a forma escolhida. Este tipo de material pode ser muitas vezes reprocessado, sem que as suas características se alterem significativamente, o que quer dizer que são recicláveis.[2][17][18]

Estes polímeros obtêm-se por adição e as moléculas ficam ligadas entre si por ligações covalentes de fraca intensidade e emaranhamento. São rígidos quando se encontram a temperatura inferior à temperatura de transição vítrea<sup>8</sup> e quando expostos entre esta e a temperatura de fusão são muito flexíveis. Os termoplásticos que apresentem maior grau de cristalinidade, como por exemplo o polietileno e o polipropileno, devem estar ao serviço a temperaturas superiores à temperatura de transição vítrea. No que diz respeito aos termoplásticos amorfos ou com um grau de cristalinidade baixo, como é o caso do poliestireno e do policloreto de vinilo, não têm gama de temperatura de fusão<sup>9</sup> e devem ser utilizados a uma temperatura inferior à temperatura de transição vítrea.[2][17][18]

### 2.5.2. Termoendurecíveis

Os plásticos termoendurecíveis são formados por extensas cadeias de moléculas com uma forte ligação entre si, formando estruturas tridimensionais. Ao serem processados são enformados com a forma desejada permanente, sendo depois

---

<sup>8</sup> Temperatura abaixo da qual um polímero fica duro e quebradiço como o vidro e acima da qual fica mole e dúctil como borracha ( $T_g$ ). A  $T_g$  depende do polímero em questão. [20]

<sup>9</sup> Temperatura à qual um polímero em estado sólido passa a um estado de líquido viscoso. ( $T_i$ )



endurecidos pela adição de produtos químicos adequados. Não podem ser refundidos e reenformados com outra forma, pois ficam degradados ou decompostos quando aquecidos a temperaturas muito altas, logo não podem ser reciclados.[17][18]

Apesar do prefixo *termo*<sup>10</sup>, nem todos estes plásticos necessitam de temperatura superior à ambiente para que o plástico mantenha a forma permanente, podendo o endurecimento ser feito com recurso apenas a uma reação química. Estes polímeros são amorfos e geralmente são mais rígidos e resistentes do que os termoplásticos, mas também são mais frágeis. Estes mantêm a sua rigidez até à degradação por combustão ou oxidação.[17][18].

### 2.5.3. Elastómeros

Os elastómeros têm uma estrutura intermédia, na qual existe alguma reticulação, o que lhes proporciona uma característica importante. São materiais que sendo deformados com tensões elevadas, recuperam a sua forma original quando a tensão deixa de existir e podem sofrer alongamentos por deformação elástica até cerca de 1000%. A leve reticulação existente inibe a fusão de um elastómero depois de ser reticulado. Este tipo de material deve ser posto ao serviço a uma temperatura acima da sua temperatura de transição vítrea.[17][19]

## 2.6. Aditivos

Os polímeros normalmente recebem aditivos, em especial aqueles que são empregues na área da construção civil, devido às propriedades exigidas. Os aditivos servem para garantir um processamento adequado e conceder as características necessárias para uma determinada função. Sem a aplicação de aditivos os polímeros têm algumas limitações, nomeadamente instabilidade aos agentes atmosféricos, baixa resistência mecânica e inflamabilidade. Existem vários aditivos diferentes, que por sua vez, poderão ser adicionados aos polímeros em concentrações diversas. A aditivação pode ser feita a seguir à polimerização, no período de granulação ou aquando da transformação do polímero em produto acabado. A utilização de aditivos tem custos financeiros, mas reduz os custos de produção e aumenta a durabilidade dos produtos.

---

<sup>10</sup> Do grego *thérmos*, que significa quente. [21]



Assim sendo, os produtos tornam-se mais competitivos e preserva-se a matéria-prima utilizada.[18][19][22]

Os aditivos podem ser divididos em adjuvantes ou cargas, de acordo com o seu propósito. Os adjuvantes são inseridos em baixas quantidades. A sua finalidade é auxiliar o processamento, ao alterar ou melhorar o comportamento reológico<sup>11</sup> e as propriedades físicas do polímero em questão. Essas propriedades são essencialmente a estabilidade ao longo do tempo à ação dos raios ultravioleta, à oxidação e ao impacto. Normalmente as substâncias utilizadas como adjuvantes são produtos orgânicos ou organometálicos com um pequeno peso molecular em relação ao dos polímeros.[17][22].

As cargas são vulgarmente produtos minerais, de custo inferior ao polímero em estado bruto, tendo como principal propósito diminuir o preço do produto final. Apesar disso funcionam por vezes também como adjuvantes, melhorando o desempenho do plástico nas funções para o qual é fabricado.[17][22]

O funcionamento eficaz dos aditivos é dependente das funções químicas existentes nas suas moléculas, mas também é importante o comportamento físico no interior do polímero. Este comportamento influencia a compatibilidade entre aditivo e polímero e a dispersão dos aditivos, que por sua vez regem os fenómenos de migração, exsudação e extração. Para além do desempenho das formulações e das aplicações, o uso de aditivos está dependente da legislação, da pressão dos consumidores, de fatores ambientais e toxicidade e do desenvolvimento tecnológico.[17][19]

Os aditivos são divididos em categorias, tendo em conta a sua finalidade.

#### Anti-estáticos:

A maioria dos polímeros é pouco condutora de eletricidade, o que leva a uma acumulação de cargas de eletricidade estática na sua superfície. Os agentes anti-estáticos vão aumentar a condutividade do material, de forma a reduzir a possibilidade de uma faísca ou descarga.[1]

#### Antimicrobianos:

Ajudam a prevenir a deterioração dos materiais plásticos, que poderão estar suscetíveis ao ataque de micróbios. Este tipo de ataque pode causar manchas, descoloração, odor e afetar a estética. Para além disso, pode causar danos mais

---

<sup>11</sup> A reologia é o estudo da deformação e escoamento da matéria, que inclui o escoamento plástico de sólidos e o de líquidos viscosos [7].



gravosos, assim como perda da capacidade de isolamento elétrico, higiene e perda de propriedades mecânicas a todos os níveis.[22]

#### Retardadores de chama:

Uma vez que os polímeros são materiais orgânicos, a maioria é inflamável. Para que os plásticos ofereçam resistência à propagação do fogo são adicionados aditivos que contenham cloro, bromina, fósforo ou sais metálicos. Estes reduzem a probabilidade da combustão acontecer ou alastrar-se.[1]

#### Lubrificantes externos:

São usados para auxiliar o processo de desmoldagem, quando se dá a transformação dos plásticos, evitando danificar tanto o plástico como o molde. O aditivo pode ser aplicado no material ou diretamente na máquina.[17][22]

#### Lubrificantes internos:

Favorecem o processamento dos plásticos ao reduzirem a viscosidade do plástico fundido e melhoram as características de moldagem. Os lubrificantes internos utilizados poderão ser cera ou estearato de cálcio.[1][22]

#### Pigmentos:

A função dos pigmentos é atribuir uma determinada cor aos plásticos, com o objetivo de melhorar a sua aparência ou por razões de ordem técnica. A coloração pode ser realizada por adição de partículas sólidas finamente dispersas ou por dissolução de compostos orgânicos apropriados. A utilização deste tipo de aditivos dispensa a pintura final dos produtos.[18][19].

#### Plastificantes:

O objetivo da utilização destes aditivos é alterar as propriedades mecânicas do produto final, tornando o plástico mais maleável e flexível, logo menos frágil.[18].

#### Estabilizantes térmicos:

Previnem a decomposição do polímero durante o seu processamento, no qual é habitual as temperaturas serem bem superiores a 180°C. A não utilização de estabilizantes térmicos resultaria num material plástico fragmentado, sem possibilidade de cumprir as funções exigidas.[22]

#### Estabilizantes UV:

São usados para inibir as reações que ocorrem nos plásticos e que causam degradação química, decorrentes da exposição aos raios ultravioleta.[22]



### Antioxidantes:

Tornam mais difícil a ocorrência de oxidação, ou seja, a reação entre o polímero e o oxigénio. A oxidação pode originar a perda de resistência ao impacto e ao alongamento, fissuras superficiais e descoloração. Este tipo de aditivos ajudam a evitar reações de oxidação térmica, aquando do processamento dos plásticos a altas temperaturas e a oxidação associada à exposição aos raios ultravioleta.[22]

### Modificadores de impacto:

Possibilita aos produtos de plástico a absorção de choques e a resistência ao impacto sem se quebrar.[22]

### Espumantes:

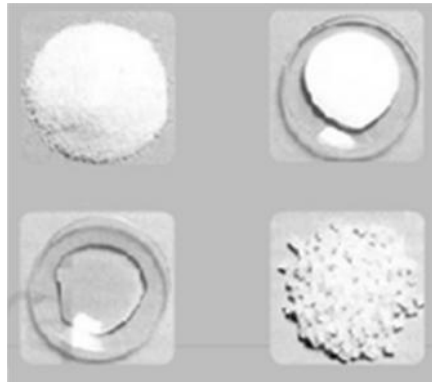
Para se obter espumas através de polímeros, pode-se adicionar um aditivo que seja capaz, através de volatilização, de formar um gás que será o agente espumante. Outra alternativa é um aditivo, através de uma reação química, gerar um gás que formará a espuma.[18]

## **2.7. Processamento**

A produção dos plásticos inicia-se numa refinaria de petróleo, com um processo de destilação, em que o petróleo em bruto é dividido em componentes distintos. Um desses componentes é a nafta, o elemento essencial para a produção dos plásticos. Depois, recorrendo a um processo de separação térmica, a nafta ficará dividida em moléculas de hidrocarbonetos mais pequenas e seguidamente será feita a polimerização, de acordo com o que já foi descrito. O polímero adquire então a forma de pó (fig. 6), pasta, líquido ou grãos (*pellets*) (fig. 7). Esta fase trata-se do fabrico das resinas, que depois poderão ser moldadas na mesma fábrica ou vendidas para outras empresas que farão a moldagem.[4][14]



**Fig. 6 – Resina de PVC em pó na FOPIL**



**Fig. 7 – Formas adquiridas após polimerização [14]**

São utilizadas diversas técnicas para transformar os materiais poliméricos em produtos com várias formas diferentes, assim como folha fina, varão, secções extrudadas, tubo ou peças finalizadas. O método utilizado irá depender, entre outros fatores, do género de plástico a processar, ou seja, se este é termoplástico ou termoendurecível. Outros fatores a considerar são a temperatura de transição vítrea, no caso de se tratar de um material termoplástico, estabilidade atmosférica do material a ser moldado e o formato e dimensão do produto final.[2][16]

Os termoplásticos são aquecidos até à temperatura em que amolecem, depois são reenformados antes de se dar o seu arrefecimento. No que diz respeito aos materiais termoendurecíveis, que não polimerizaram totalmente antes do processamento na forma final, é utilizado um método em que se dá uma reação química, que irá formar ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, que originam um polímero reticulado. Pode-se fazer a polimerização final com aplicação de calor e pressão ou com recurso a um catalisador, à temperatura ambiente ou com temperaturas mais altas. A seleção da técnica de processamento adequada a cada peça é muito importante, devendo ser aquela que a produza com as propriedades pretendidas e que seja aplicável ao polímero em causa.[2][16]

Para produzir os termoplásticos os métodos mais utilizados são a moldagem por injeção, extrusão e moldagem por sopro e termoformação. Em relação aos termoendurecíveis os processos com maior importância são a moldagem por compressão, por transferência e por injeção.[2]

## 2.7.1. Processamento de termoplásticos

### 2.7.1.1. Moldagem por injeção

A moldagem por injeção (fig. 8) é um dos métodos mais importantes e mais utilizados para a moldagem dos materiais termoplásticos. Este método permite fazer partes distintas, que podem ter secções transversais complexas e variáveis, bem como uma grande variedade de texturas e características de superfície. O processo é cíclico, inicia-se com a fusão do termoplástico, que depois é introduzido na cavidade de um molde fechado com recurso à pressão feita por um êmbolo. Após o tempo suficiente para a peça de plástico solidificar, normalmente por arrefecimento, o molde que dá a forma ao plástico abre-se e a peça é removida [2,20].

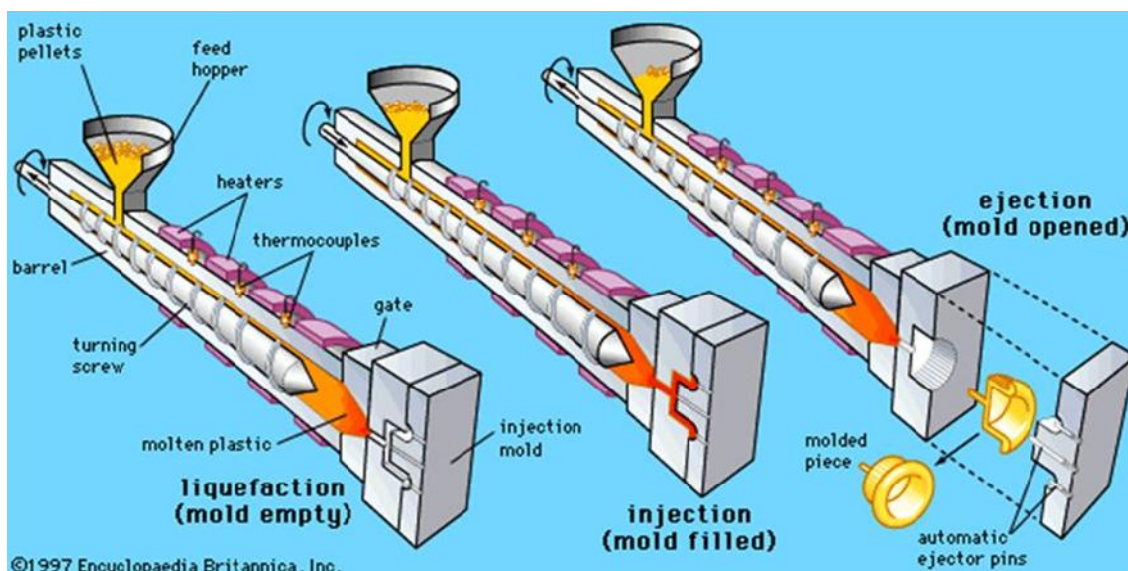
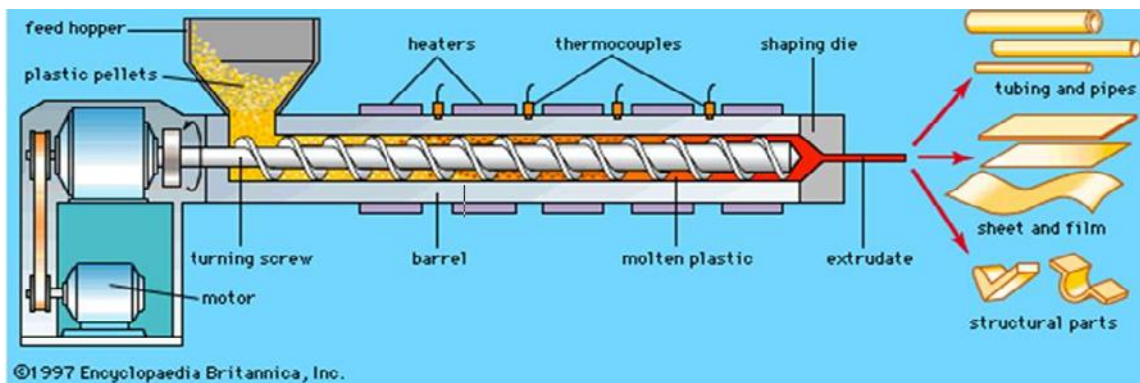


Fig. 8 – Processo de injeção [23]

### 2.7.1.2. Moldagem por extrusão

A extrusão (fig. 9) é outro método com muita importância e também um dos mais usados para o processamento dos materiais termoplásticos. Esta técnica é especialmente adaptada para produzir comprimentos contínuos com secções rectas constantes, que é o caso dos tubos, varões, filmes e outros. É um método contínuo em que o polímero é fundido, homogeneizado e obrigado a verter através de uma abertura limitada, que irá moldar o material e produzir as peças com o perfil pretendido [2,16].



**Fig. 9 – Processo de extrusão [23]**

O processo inicia-se com a colocação da resina termoplástica (fig. 10) num cilindro a temperatura elevada, o que amolece o material. Este é forçado a entrar na abertura, numa matriz adequadamente maquinada, com o auxílio de um parafuso rotativo ou um veio roscado (fig. 11). Após a saída do molde, a peça deve ser arrefecida, para uma temperatura abaixo da temperatura de transição vítrea do material em questão, para se assegurar a sua estabilidade dimensional. Para fazer o arrefecimento recorre-se normalmente a um sistema de arrefecimento a água (fig. 12) ou a um jacto de ar.[2][16]

É de referir que a extrusão também pode ser aplicada a materiais termoendurecíveis e elastómeros. Pode ser utilizada para retirar humidade ou compostos voláteis, assim como na junção de aditivos ao material. A máquina de extrusão também pode fazer misturas de materiais plásticos, produzir formas primárias e aproveitar os desperdícios de materiais termoplásticos.[2][16]



**Fig. 10 – Alimentação de resina de PVC na FOPIL**



**Fig. 11 – Extrusora na FOPIL**



**Fig. 12 – Arrefecimento dos tubos na FOPIL**



**Fig. 13 – Saída de tubo de PVC na FOPIL**

### 2.7.1.3. Moldagem por sopro

A moldagem por sopro (fig. 14) é muito utilizada para fabricar garrafas e outras peças ocas, em que a entrada é mais pequena que o corpo do recipiente. O processo de moldagem por sopro consiste na utilização da pressão do ar para expandir um tubo ou cilindro de plástico aquecido, denominado pré-forma. Fecha-se o molde aprisionando as pontas do tubo, introduz-se o ar comprimido ou vapor, que força as paredes do tubo a tomar a forma das paredes do molde. Depois do arrefecimento abre-se o molde e remove-se a peça. A preparação da pré-forma pode ser feita com recurso ao processo de injeção ou de extrusão.[2][4]

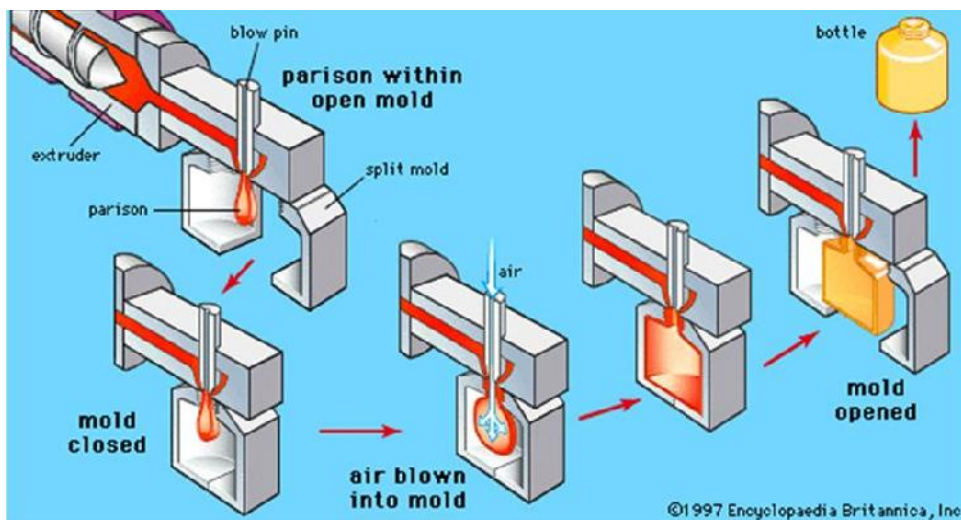


Fig. 14 – Processo de moldagem por sopro [23]

### 2.7.1.4. Moldagem por termoformação

A moldagem por termoformação é perfeitamente adequada para produzir peças descartáveis, de paredes finas ou de grandes dimensões, porque os moldes utilizados são relativamente baratos. Esta técnica consiste no aquecimento de uma folha de plástico até que esta amoleça, sendo depois forçada em direção às paredes do molde, com o auxílio de pressão. A pressão pode ser exercida mecanicamente (fig. 15), se se tratar de um molde fechado, ou através de vácuo (fig. 16) ou ar comprimido (fig. 17) no caso de um molde aberto. Deixa-se a peça arrefecer e solidificar, retira-se a pressão e extrai-se o material do molde.[2][16]

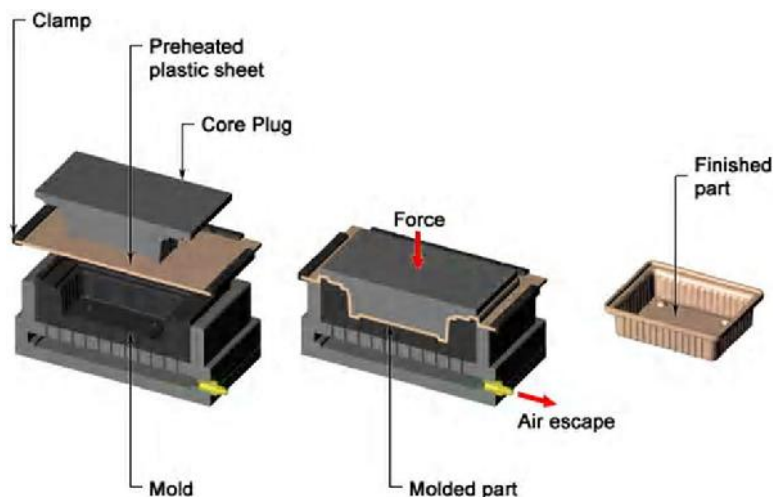


Fig. 15 – Moldagem mecânica [24]

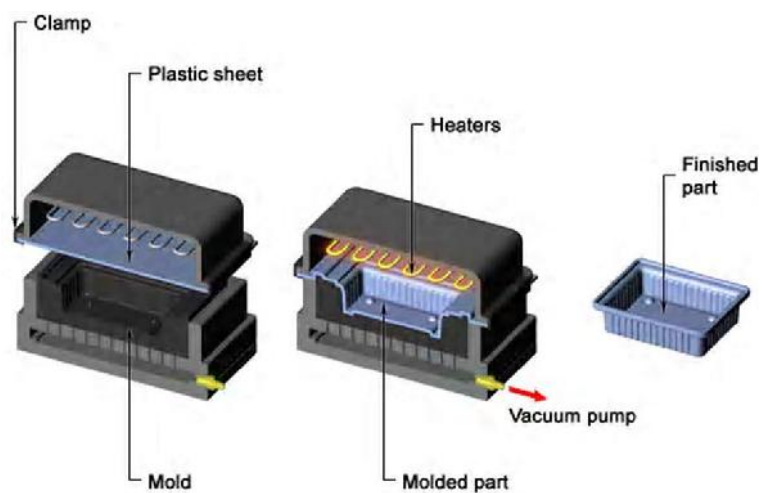


Fig. 16 – Moldagem por vácuo [24]

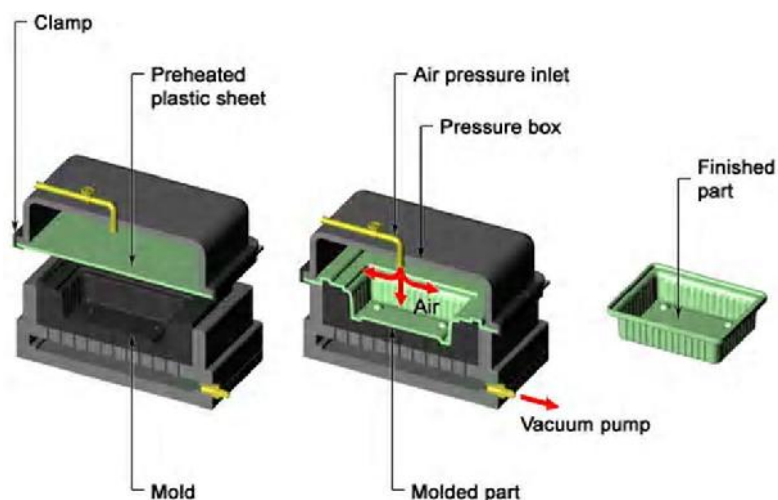


Fig. 17 – Moldagem por ar comprimido [24]

## 2.7.2. Processamento de termoendurecíveis

### 2.7.2.1. Moldagem por compressão e transferência

No processo de moldagem por compressão (fig. 18), são misturados os polímeros e os aditivos escolhidos, nas quantidades adequadas. O material pode ser pré-aquecido ou não, sendo colocado num molde quente. A parte de cima do molde desce, comprimindo a substância e são aplicados calor e pressão até que esta se torne viscosa e adote a forma pretendida. É necessária a continuação do aquecimento, no caso dos materiais termoendurecíveis, para que a formação de ligações cruzadas se complete. A peça é ejetada do molde e seguidamente o material a mais é cortado. Utilizando esta técnica tem-se acesso a moldes com baixo custo e maior durabilidade e a produção de peças de grandes dimensões. As formas complexas são difíceis de produzir e é complicado que os componentes das peças fabricadas, mantenham tolerâncias apertadas.[2][16]

Na técnica de moldagem por transferência (fig. 19), o material é inserido numa câmara externa, enquanto na moldagem por compressão, se introduz diretamente na cavidade do molde. Após o fecho do molde, o êmbolo impele o material a passar da câmara externa para as cavidades do molde. Depois de ocorrer a cura do material moldado, como no processo de compressão, a peça é ejetada do molde. Esta técnica evita que se formem rebarbas aquando da moldagem, pelo que o acabamento das peças se torna mais fácil. Outras vantagens são a capacidade para fazer peças pequenas com formas complexas e podem-se fabricar várias peças ao mesmo tempo. Apesar desta técnica se poder utilizar também para fabricar polímeros termoplásticos, é mais demorada e dispendiosa.[2][16]

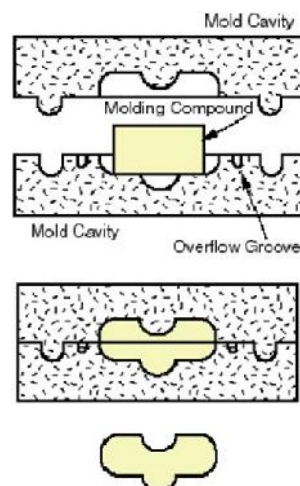


Fig. 18 – Moldagem por compressão [25]

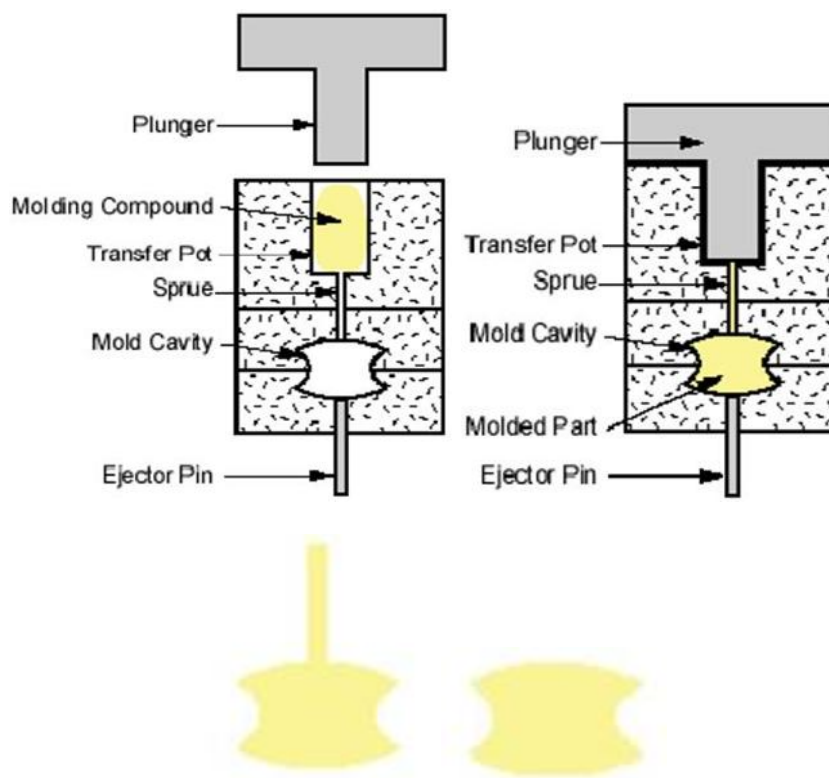


Fig. 19 – Moldagem por transferência [25]

### 2.7.2.2. Moldagem por injeção

A moldagem por injeção também pode ser aplicada a materiais termoendurecíveis, com recurso a máquinas de injeção com parafuso móvel. É utilizado o equipamento padrão de moldagem por injeção, mas com revestimentos especiais de aquecimento e arrefecimento. Estes revestimentos permitem que a cura ocorra durante o processo. Para algumas resinas é preciso ventilar adequadamente as cavidades do molde, para que os produtos de reação originados aquando da cura sejam expelidos.[2]



### 3. Plásticos utilizados nas redes prediais de águas e esgotos

A utilização de tubagens em materiais plásticos tem vindo a aumentar, apesar disto ainda persistem alguns erros na sua seleção e instalação, o que pode implicar o aparecimento de situações patológicas. Já existem estudos, normas, certificados de qualidade, documentos de homologação e outros para a maioria das tubagens plásticas, o que significa que existe a garantia de um bom desempenho. O problema que ainda persiste é a falta de conhecimento, por parte dos técnicos responsáveis, das vantagens e desvantagens de cada tipo de material plástico.[18][26]

Os materiais plásticos mais utilizados para a distribuição predial de água potável são o polietileno de alta densidade, polietileno reticulado, o polipropileno e o policloreto de vinilo clorado. Para a rede predial de esgotos utiliza-se o policloreto de vinilo, que se tornou praticamente no único material escolhido para este tipo de aplicação.

Os tubos são fabricados utilizando o processo de extrusão, enquanto para fabricar os acessórios recorre-se ao processo de injeção.[17]

#### 3.1. Polietileno de alta densidade (PEAD)

##### 3.1.1. Características

O polietileno é um material termoplástico, cuja sigla é PE. Uma molécula de polietileno pode reunir 5000 a 15000 monómeros. Os avanços que se têm verificado ultimamente, nas técnicas de polimerização, possibilitam o fabrico de resinas mais cristalinas e com cada vez melhores características. A região cristalina tem uma densidade superior à região amorfa, portanto, são obtidas diferentes densidades dependendo do grau de cristalinidade. O PE pode classificar-se segundo a sua densidade (tabela 2), dividindo-se em polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de média densidade (PEMD) e polietileno de alta densidade (PEAD) Utilizando este tipo de classificação, o que é utilizado maioritariamente nas redes prediais de águas é o PEAD.[18]

Classe	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
PEBD	910-925
PEMD	926-940
PEAD	>940

Tabela 2 – Densidade das diferentes classes de polietileno [27]



Como o aperfeiçoamento da química dos materiais poliméricos tem possibilitado a produção de polietilenos com cada vez melhor resistência mecânica, a sua resistência já não está ligada diretamente à sua densidade. Assim sendo, é apropriado que o polietileno seja classificado tendo em conta a sua tensão de segurança (tabela 3). Outra forma de classificar os polímeros é através do valor de tensão mínima requerida (MRS). É assim que são denominados nas normas elaboradas pelo Comité Europeu de Normalização. Para determinar este valor são feitos ensaios de fluência a vários troços de tubo, para cada uma das temperaturas de ensaio escolhidas, com uma pressão interior constante, até que atinjam a rotura. Para determinar a MRS e depois a tensão de segurança ( $\sigma_s$ ), é utilizada a temperatura de 20 °C. As temperaturas superiores servem para extrapolar, utilizando as curvas<sup>12</sup>  $\log(\sigma) - \log(t)$ , a forma da curva  $\log(\sigma) - \log(t)$ , para a temperatura de 20°C. Para se obter a tensão de segurança, divide-se o valor de MRS por um fator de segurança. Especificamente para o polietileno esse fator é 1,25, considerando um tempo de vida útil de 50 anos.[18][28]

Designação	MRS (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)
PE100	10,0	8,0
PE80	8,0	6,3
PE63	6,3	5,0
PE40	4,0	3,2

Tabela 3 – Valor de MRS e  $\sigma_s$  dependendo do tipo de polietileno [28]

Estando na presença de tubos com o mesmo diâmetro e a mesma classe de pressão, uma maior tensão de segurança significa uma menor espessura do tubo, o que irá economizar a matéria-prima utilizada na sua produção.[18]

O polietileno é um material que pode ser reciclado aquando do final da sua vida útil, para aplicação noutras áreas. O material reprocessável de proveniência externa e o material reciclável não podem ser utilizados na produção dos tubos de polietileno. Apenas o material reprocessável limpo, resultante do fabrico interno do produtor e dos ensaios de produtos conformes com a EN 12201 ou EN 13244-1 poderão ser empregues na produção.[28]

O polietileno é um dos materiais plásticos mais utilizado, isto deve-se à sua resistência, ductilidade e flexibilidade, mesmo a baixas temperaturas. Por outro lado é importante referir que este material é um pouco menos resistente mecânicamente e menos rígido que o policloreto de vinilo, que se irá analisar mais à frente.[29]

<sup>12</sup> Sendo  $\sigma$  a tensão circunferencial na parede do tubo sujeito à ação da pressão interior constante e  $t$  o tempo até acontecer a rotura. [18]

Os tubos de polietileno são projetados para funcionar a temperaturas da ordem dos 20 °C, em funcionamento contínuo, pelo que não devem ser utilizados para transportar água quente. A pressão máxima de serviço (MOP), em utilização contínua, não deverá ser superior a 2,5 MPa.[26][28]

Quando se pretende que um sistema de polietileno funcione a uma temperatura constante contínua superior a 20°C e inferior ou igual a 40°C, deve-se aplicar um coeficiente de redução da pressão (tabela 4).

Temperatura (°C)	Coeficiente
20	1,00
30	0,87
40	0,74

**Tabela 4 – Coeficientes de redução da pressão [27]**

Os tubos de polietileno utilizados para a condução de água potável deverão ser de cor azul ou negra com riscas azuis (fig. 20). No que diz respeito ao transporte de água não potável e outros líquidos, o tubo deverá ser de cor negra (fig. 21). Poderá ser diferente desde que requerido por regulamentos nacionais, não utilizando os tubos de cor igual à utilizada nos tubos de água potável. O fornecimento dos tubos poderá ser feito em rolos desde que se evitem deformações localizadas e o diâmetro interior do rolo não seja inferior a 18 vezes o diâmetro nominal. Normalmente os tubos de diâmetro até 110 mm são fornecidos em rolos.[28][30]

No mercado estão disponíveis tubos de polietileno com diâmetros desde 16 mm até 1600 mm. As espessuras mínimas e máximas da parede têm em conta este valor e o tipo de polietileno em questão. As tabelas seguintes são aplicáveis a águas e esgotos, com a exceção do tudo de diâmetro 16 mm que só é utilizado no abastecimento de águas.



**Fig. 20 – Tubos de polietileno para a condução de água potável**



Fig. 21 – Tubos de polietileno para a condução de águas não potáveis ou outros líquidos [31]

	Séries de tubos									
	SDR 6		SDR 7,4		SDR 9		SDR 11		SDR 13,6	
	S 2,5		S 3,2		S 4		S 5		S 6,3	
	Pressão nominal, PN (bar)									
PE 40	-		PN 10		PN 8		-		PN 5	
PE 63	-		-		-		PN 10		PN 8	
PE 80	PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5		PN 10	
PE 100	-		PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5	
Dimensão nominal DN/OD	Espessuras de parede (mm)									
	$e_{min}$	$e_{máx}$	$e_{min}$	$e_{máx}$	$e_{min}$	$e_{máx}$	$e_{min}$	$e_{máx}$	$e_{min}$	$e_{máx}$
16	3,0	3,4	2,3	2,7	2,0	2,3	-	-	-	-
20	3,4	3,9	3,0	3,4	2,3	2,7	2,0	2,3	-	-
25	4,2	4,8	3,5	4,0	3,0	3,4	2,3	2,7	2,0	2,3
32	5,4	6,1	4,4	5,0	3,6	4,1	3,0	3,4	2,4	2,8
40	6,7	7,5	5,5	6,2	4,5	5,1	3,7	4,2	3,0	3,5
50	8,3	9,3	6,9	7,7	5,6	6,3	4,6	5,2	3,7	4,2
63	10,5	11,7	8,6	9,6	7,1	8,0	5,8	6,5	4,7	5,3
75	12,5	13,9	10,3	11,5	8,4	9,4	6,8	7,6	5,6	6,3
90	15,0	16,7	12,3	13,7	10,1	11,3	8,2	9,2	6,7	7,5
110	18,3	20,3	15,1	16,8	12,3	13,7	10,0	11,1	8,1	9,1
125	20,8	23,0	17,1	19,0	14,0	15,6	11,4	12,7	9,2	10,3
140	23,3	25,8	19,2	21,3	15,7	17,4	12,7	14,1	10,3	11,5
160	26,6	29,4	21,9	24,2	17,9	19,8	14,6	16,2	11,8	13,1
180	29,9	33,0	24,6	27,2	20,1	22,3	16,4	18,2	13,3	14,8
200	33,2	36,7	27,4	30,3	22,4	24,8	18,2	20,2	14,7	16,3

Tabela 5 – Espessura de parede dos tubos de polietileno [28]



	Séries de tubos					
	SDR 17,6		SDR 21		SDR 26	
	S 8,3		S 10		S 12,5	
	Pressão nominal, PN (bar)					
PE 40	-		PN 3,2		PN 2,5	
PE 63	PN 6		PN 5		PN 4	
PE 80	-		PN 6		PN 5	
PE 100	-		PN 8		PN 6	
Dimensão nominal DN/OD	Espessuras de parede (mm)					
	$e_{min}$	$e_{máx}$	$e_{min}$	$e_{máx}$	$e_{min}$	$e_{máx}$
16	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
32	2,0	2,3	-	-	-	-
40	2,3	2,7	2,0	2,3	-	-
50	2,9	3,3	2,4	2,8	2,0	2,3
63	3,6	4,1	3,0	3,4	2,5	2,9
75	4,3	4,9	3,6	4,1	2,9	3,3
90	5,1	5,8	4,3	4,9	3,5	4,0
110	6,3	7,1	5,3	6,0	4,2	4,8
125	7,1	8,0	6,0	6,7	4,8	5,4
140	8,0	9,0	6,7	7,5	5,4	6,1
160	9,1	10,2	7,7	8,6	6,2	7,0
180	10,2	11,4	8,6	9,6	6,9	7,7
200	11,4	12,7	9,6	10,7	7,7	8,6

Tabela 6 – Espessura de parede dos tubos de polietileno (continuação) [28]

Os tubos de polietileno devem ser marcados de forma duradoura e legível, sem que isso cause fissuras ou outros defeitos. A marcação mínima exigida deverá respeitar as indicações da tabela 7, devendo ser aplicada diretamente no tubo, no mínimo de metro em metro, impressa ou gravada. Os tubos fornecidos em rolo deverão ser marcados sequencialmente para que seja possível saber o comprimento que ainda existe no rolo.

Elementos de marcação	Marca ou símbolo
Número da Norma	EN 12201 ou EN 13244
Identificação do fabricante	Nome ou símbolo
Dimensões ( $d_n, e_n$ )	por exemplo, 110 x 10
Séries SDR	por exemplo, SDR 11
Material e designação	por exemplo, PE 80
Classe de Pressão, em bar	por exemplo, PN 12,5
Período de produção (data ou código)	por exemplo, 9302 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Em algarismos ou em código, legíveis, permitindo a rastreabilidade do período de produção,

Tabela 7 – Marcação mínima requerida para tubos de polietileno [28] [30]



### 3.1.2. Vantagens e desvantagens

O polietileno é um material com provas dadas no que diz respeito ao seu excelente comportamento nas redes de água fria. Em relação aos outros materiais é barato, leve e flexível. Resiste à corrosão, as ligações fazem-se com facilidade e a sua flexibilidade permite fazer mudanças de direção sem a utilização de acessórios. Possui boa resistência ao choque e apresenta uma boa inércia química, principalmente aos ácidos fracos e fortes não oxidantes, aos materiais básicos e à maior parte dos solventes orgânicos.[18][32]

Os tubos de polietileno não fraturam devido à expansão da água quando congela. São menos propensos a rasgões e a sua resistência à fadiga é superior, quando comparados com outros tubos plásticos. Com a inclusão de estabilizantes ultravioleta na constituição do polietileno é possível aplicá-lo no exterior com uma boa duração de serviço, tendo em conta que a capacidade do material resistir a intempéries depende do tipo de estabilizador utilizado e do tempo de exposição aos raios ultravioleta. Podem ser fornecidos em rolos, até ao diâmetro de 110 mm, o que facilita o seu armazenamento e transporte. O polietileno poderá ter uma vida útil longa, cerca de 50 anos.[29][33]

A temperatura é uma grande limitação do polietileno, que só deve ser aplicado na rede de água fria. O seu coeficiente de expansão térmica elevado limita a sua utilização em várias aplicações. Este material é passível de fissuração sob tensão e incha se estiver em contacto com óleos e gorduras. O polietileno é relativamente sensível à radiação solar e é permeável a alguns gases e vapores como é o caso do oxigénio, dióxido de carbono, azoto e vapor de água.[18][32]

### 3.1.3. Ligações

Existe uma grande variedade de ligações disponíveis no mercado para a tubagem de polietileno, sendo que os materiais utilizados poderão ser plásticos e metais. Os tubos e acessórios são unidos através de soldadura ou ligações mecânicas. Nos tubos de pequeno diâmetro as ligações mecânicas são as mais empregadas, enquanto para os de grande diâmetro é escolhida normalmente a soldadura. Os tubos consideram-se de pequeno diâmetro se este for igual ou inferior a 90 mm, que é o caso dos tubos que

mais frequentemente se utilizam nas redes prediais. As ligações feitas por soldadura podem ser de topo a topo ou por eletrofusão.[34]

### 3.1.3.1. Sistema de soldadura topo a topo

O sistema de soldadura topo a topo (fig. 22) faz-se por termofusão. Esta forma de ligação é utilizada para unir tubos e acessórios (fig. 23) de igual diâmetro e espessura e pode ser utilizada para unir tubos de pequena ou grande dimensão, pois são usadas máquinas de soldadura que o permitem. Apesar de levar a uma poupança no material, o preço da mão-de-obra especializada só compensa para diâmetros grandes. A integridade da ligação a longo prazo é excelente, assim como a sua resistência mecânica e estrutural, sendo até superiores ao tubo.[29]



Fig. 22 – Ligação através de soldadura topo a topo [35]



Fig. 23 – Principais acessórios de PE para soldadura topo a topo [36]



Para dar início ao processo de soldadura o instalador deve assegurar-se que os elementos a unir estão limpos e depois prende-os. As extremidades dos tubos são alinhadas frente a frente, devem estar bem centradas e cortadas em esquadria (fig. 24). Aquecem-se as pontas com as placas de aquecimento até que entrem em fusão e depois são unidas com a pressão adequada, que é mantida até ao arrefecimento da união (fig. 25).

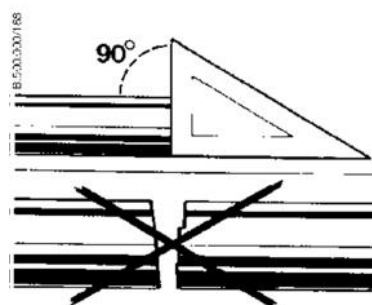


Fig. 24 – Corte do tubo em esquadria [37]

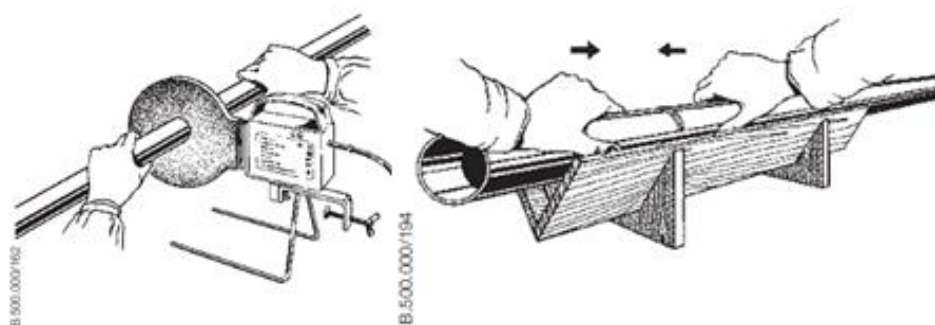


Fig. 25 – Realização de uma união por soldadura topo a topo [37]

### 3.1.3.2. Sistema de soldadura por eletrofusão

A soldadura por eletrofusão (fig. 26) é algo diferente da descrita no ponto anterior. A principal diferença entre os dois tipos de soldadura é a forma como o calor é aplicado. Enquanto na soldadura topo a topo o aquecimento é externo, na eletrofusão o aquecimento é interno. Os acessórios eletrossoldáveis (fig. 27) têm incorporada uma resistência elétrica, que gera calor suficiente para a fusão com a passagem de corrente. Esta técnica de ligação é das mais fiáveis que existem, embora seja mais cara.[33]



Fig. 26 – Ligação através de soldadura por eletrofusão [38]



Fig. 27 - Principais acessórios de PP eletrossoldáveis [36]

O tubo é cortado em esquadria como no método descrito no ponto anterior, raspase o tubo nas extremidades a ligar para remover a camada oxidada utilizando uma ferramenta manual (fig. 28) ou mecânica. Limpam-se as pontas a unir e o acessório eletrossoldável. O tubo é inserido no acessório até à profundidade adequada (fig. 29) e de preferência apoiado numa superfície ou preso para que não existam movimentos que interfiram na ligação. Faz-se a ligação elétrica entre a máquina de eletrossoldadura (fig. 30) e o acessório. Os furos de menor dimensão indicam que a soldadura está conforme quando se enchem de material fundido, proveniente do interior do acessório. Após o tempo de fusão pode-se avançar para outra ligação sem que haja necessidade de esperar pelo arrefecimento, como é no caso da soldadura topo a topo. A união mecânica, que se descreve no ponto seguinte, é mais vantajosa em termos económicos, devido ao trabalho e preço dos acessórios envolvidos na eletrossoldadura. Normalmente esta ligação é mais utilizada nos diâmetros pequenos e em instalações que exijam maiores cuidados, como as de gás [39].



Fig. 28 – Raspagem das extremidades do tubo de PE [38]



Fig. 29 – Colocação do tubo de PE no interior do acessório [38]



Fig. 30 – Máquina de soldadura automática [38]

### 3.1.3.3. Sistema de ligação mecânica

A ligação por sistemas mecânicos (fig. 31) pode ser feita recorrendo a acessórios de latão, polietileno, polipropileno (fig. 32) ou ferro fundido e consiste simplesmente na aplicação dos mesmos. No caso das redes prediais, em que são normalmente utilizados diâmetros inferiores a 110 mm, os materiais utilizados são latão ou polipropileno. O plástico é uma escolha vantajosa, visto ser resistente às solicitações químicas. Este tipo de ligação é utilizada para unir tubos de PE entre si ou unir estes a tubos ou acessórios de materiais diferentes, sendo bastante versáteis. Os acessórios

são constituídos por um corpo que se irá unir ao tubo, um aro de fixação, um anel de borracha para garantir a estanquidade e uma peça móvel roscada ou aparafusada ao corpo. Visto a variedade destes acessórios ser muito grande, optou-se por descrever os mais vulgares.[34]



Fig. 31 – Ligação através de sistemas mecânicos



Fig. 32 - Principais acessórios de PP para ligação mecânica [36]

Os acessórios mais utilizados são os de aperto (ou encaixe) rápido, permitem uma união eficaz e económica.

Um dos cuidados a ter na montagem dos acessórios mecânicos é começar por chanfrar o tubo. Após a preparação correta do extremo do tubo, desaperta-se a porca sem a separar do corpo e verifica-se se a junta e o cone de fixação estão posicionados de forma apropriada. Coloca-se o extremo do tubo não roscando a porca. O acessório deve ser empurrado até que o tubo passe a junta e atinja o topo. A porca é roscada manualmente (fig. 33) e depois é apertada com a chave adequada.

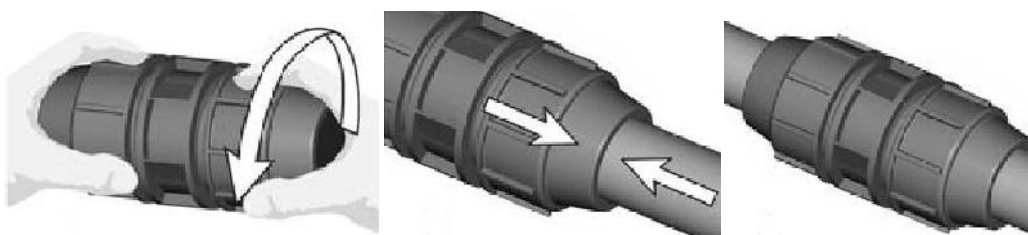


Fig. 33 – Montagem da série *performance* [36]

O sistema descrito anteriormente é mais expedito, mas existe outro semelhante que é mais utilizado quando se pretende fazer uma mudança de material. Para isso desmonta-se o acessório e deslizam-se todos os componentes internos: porca, cone de fixação, casquilho e junta tórica. Pressiona-se o tubo em direção ao interior do acessório até chegar ao topo, colocando posteriormente a junta tórica e o casquilho no local adequado. Separa-se depois o cone de fixação e desliza-se a porca sobre o mesmo (fig. 34). Para finalizar aperta-se com uma ferramenta apropriada. Este sistema permite uma poupança em ferramentas, tempo e não exige uma mão-de-obra tão especializada quanto os métodos descritos nos dois pontos anteriores. Após análise cuidadosa conclui-se que este sistema de ligação é o mais indicado para as redes prediais de águas, em condições normais de instalação, em que não são exigidos valores elevados de resistência à pressão no interior do tubo ou a forças exteriores de tração.[34]

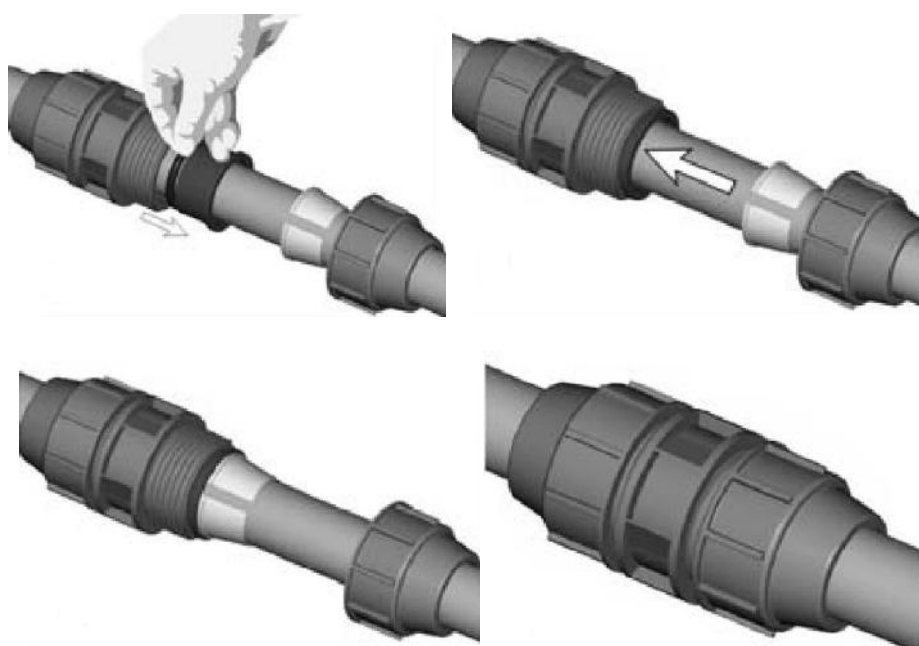


Fig. 34 – Montagem da série *standard* [36]

### 3.2. Polietileno reticulado (PE-X)

#### 3.2.1. Características

A matéria-prima utilizada para o fabrico de polietileno reticulado (PE-X) é o PEAD, descrito no ponto anterior. A reticulação forma uma rede tridimensional com ligações covalentes entre as cadeias de polímeros. O grau de reticulação pode variar, mas existe sempre a transformação de um polímero termoplástico num termoendurecível. Isto significa que o material obtido não amolece nem escorre quando aquecido novamente e o processo é irreversível, sendo que o PE-X não é reciclável. A reticulação pode acontecer durante o processo de extrusão ou depois, dependendo do método utilizado. A reticulação do polietileno vai aumentar a sua resistência à degradação térmica, à deformação e às fissuras provocadas por líquidos ou ambientes agressivos [40].

O PE-X (fig. 35) é normalmente utilizado no abastecimento de água, pode ser utilizado na canalização de água fria e quente, respeitando as condições de serviço (Tabela 8). O fabrico do PE-X pode ser feito pelo método do peróxido (PE-Xa), do silano (PE-Xb,) da irradiação (PE-Xc) e azo (PE-Xd).[41]



Fig. 35 – Tubos de PE-X

Na Tabela 8 apresentam-se duas classes de tubos de PE-X, 1 e 2, com uma temperatura de serviço de 60°C e 70°C, respetivamente. Segundo o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de



Águas Residuais (RGSPDADAR) as temperaturas da água na distribuição de água quente não devem exceder ao 60°C, pelo que os tubos de classe 1 são os indicados a nível nacional. Se for necessário manter temperaturas mais elevadas, terá que ser utilizada uma classe superior.

O valor da tensão mínima requerida (MRS) é de 8,0 MPa, o que equivale a uma tensão de segurança ( $\sigma_s$ ) de 6,3 MPa, considerando uma vida útil de 50 anos. Os tubos são fabricados em diâmetros que geralmente variam entre os 12 mm e os 160 mm (tabela 9).

Classe	Temperatura de serviço $T_D$ (°C)	Tempo a $T_D$ (anos)	$T_{max}^b$ (°C)	Tempo a $T_{max}$ (anos)	$T_{mal}^c$ (°C)	Tempo a $T_{mal}$ (h)	Campo de aplicação tipo
1 <sup>a</sup>	60	49	80	1	95	100	Abastecimento de água quente (60°C)
2 <sup>a</sup>	70	49	80	1	95	100	Abastecimento de água quente (70°C)

<sup>a</sup> Um país pode selecionar a classe 1 ou 2 conforme os seus regulamentos nacionais;  
<sup>b</sup>  $T_{max}$  – temperatura máxima de serviço;  
<sup>c</sup>  $T_{mal}$  – temperatura de mau funcionamento.

**Tabela 8 – Classificação das condições de serviço para os tubos de PE-X [42]**

Dimensão nominal DN/OD	Diâmetro nominal exterior $d_n$ (mm)	Diâmetro exterior médio		Séries de tubos			
		$d_{em,min}$ (mm)	$d_{em,max}$ (mm)	S 6,3	S 5	S 4	S 3,2
				Espessura de parede $e_{min}$ e $e_n$ (mm)			
12	12	12,0	12,3	-	1,3 <sup>a</sup>	1,4	1,7
16	16	16,0	16,3	1,3	1,5	1,8	2,2
20	20	20,0	20,3	1,5	1,9	2,3	2,8
25	25	25,0	25,3	1,9	2,3	2,8	3,5
32	32	32,0	32,3	2,4	2,9	3,6	4,4
40	40	40,0	40,4	3,0	3,7	4,5	5,5
50	50	50,0	50,5	3,7	4,6	5,6	6,9
63	63	63,0	63,6	4,7	5,8	7,1	8,6
75	75	75,0	75,7	5,6	6,8	8,4	10,3
90	90	90,0	90,9	6,7	8,2	10,1	12,3
110	110	110,0	110,0	8,1	10,0	12,3	15,1
125	125	125,0	126,2	9,2	11,4	14,0	17,1
140	140	140,0	141,3	10,3	12,7	15,7	19,2
160	160	160,0	161,5	11,8	14,6	17,9	21,9

<sup>a</sup> É permitida uma espessura de parede não preferencial de 1,1 mm para  $d_n=12$

**Tabela 9 – Dimensões dos tubos de PE-X de classe A [43]**

Os tubos devem ser marcados, de acordo com o que se disse anteriormente para o polietileno e tendo em conta o que consta na tabela 10.



Elementos de marcação	Marca ou símbolo
Número da Norma	EN ISO 15875
Identificação do fabricante e/ou marca comercial	Nome ou símbolo
Diâmetro exterior nominal	Por exemplo, 16 x 2,2
Classe de dimensão dos tubos	Por exemplo, A
Material	<sup>a</sup>
Código da zona de aplicação	Por exemplo, Classe 2/10 bar
Opacidade	Opaco <sup>b</sup>
Informação do fabricante	<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Para material reticulado por:  
peróxido: PE-Xa  
silano: PE-Xb  
irradiação: PE-Xc  
azo: PE-Xd

<sup>b</sup> Se declarado pelo fabricante.

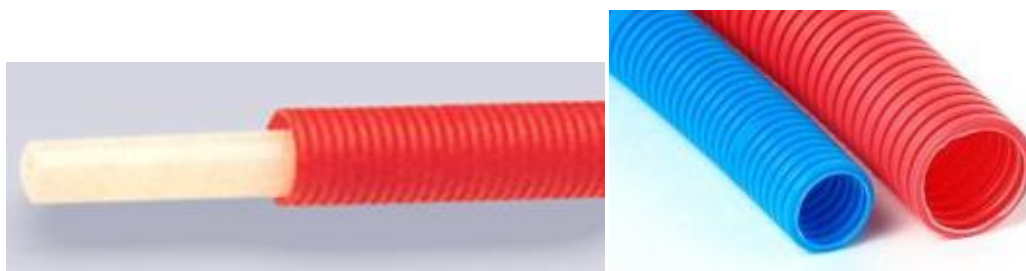
<sup>c</sup> De forma a assegurar a rastreabilidade, devem ser fornecidos os seguintes elementos:  
a) O período de fabrico, mês e ano, em algarismos ou em código;  
b) Um nome ou um código para o local de fabrico, se o fabricante produzir em locais diferentes.

**Tabela 10 - Marcação mínima requerida para tubos de PE-X [43]**

### 3.2.2. Vantagens e desvantagens

As propriedades do PE-X são superiores às dos outros polietilenos, a reticulação aumenta a resistência ao impacto, a possibilidade de flexão, a resistência à tração e à compressão.

O PE-X é um plástico com excelente comportamento quando exposto a temperaturas elevadas, pelo que pode ser utilizado na rede de água quente. O material é leve, o que torna o manuseamento e instalação mais fáceis. Apresenta boa resistência aos produtos químicos, nas suas aplicações. As mudanças de direção são simples, sem necessidade de acessórios devido à sua flexibilidade, sobretudo nos diâmetros mais pequenos. Baixo coeficiente de atrito, boa resistência à rotura frágil, mesmo a temperaturas inferiores, boa resistência aos entalhes superficiais, ao choque, às vibrações e ao movimento da parede ou pavimento em que estão assentados. Os tubos de pequeno diâmetro são fáceis de instalar dentro de uma manga corrugada (fig. 36), partindo de uma caixa de coletores (fig. 37) e permitem a substituição dos tubos sem destruir paredes ou pavimentos. É importante referir que esta instalação (fig. 38) deve ser bem realizada, para que seja possível usufruir desta capacidade.[18]



**Fig. 36 – Manga corrugada**



**Fig. 37 – Caixa de coletores de tubos PE-X**



**Fig. 38 – Instalação de tubos PE-X**

Estes tubos são sensíveis à radiação solar, especialmente se forem de cor branca. Necessitam de uma camada especial para servir de barreira à entrada de oxigénio para o interior dos tubos.[18]

### 3.2.3. Ligações

As uniões dos tubos de PE-X são normalmente feitas com recurso a acessórios de compressão ou pressão, em metal ou plástico. A generalidade dos fabricantes tem os seus acessórios mecânicos, como é o caso da Uponor, por exemplo. É recomendável utilizar os tubos e acessórios do mesmo produtor, sob pena de a instalação ficar mal feita, seguindo as suas recomendações.

#### 3.2.3.1. Sistema de ligação mecânica

Os sistemas mais utilizados para fazer as uniões são anéis, que podem ser metálicos ou plásticos (fig. 39), abraçadeiras metálicas (fig. 40) e acessórios de pressão (fig. 41).



Fig. 39 – Anéis metálicos e plásticos para tubos de PE-X [44]



Fig. 40 – Abraçadeira metálica para tubos de PE-X [45]



Fig. 41 – Acessórios de pressão para tubos de PE-X [46]

Qualquer que seja tipo de ligação o extremo a unir deve estar limpo e sem gorduras e deve ser cortado em esquadria.

Quando se utilizam anéis, colocam-se estes na extremidade do tubo, pelo lado de fora. Faz-se a expansão da ponta do tubo com ferramenta apropriada e coloca-se o tubo na posição desejada (fig. 42). O tubo contrai sobre o acessório, o que demora cerca de 3 segundos e a união fica finalizada.[44]

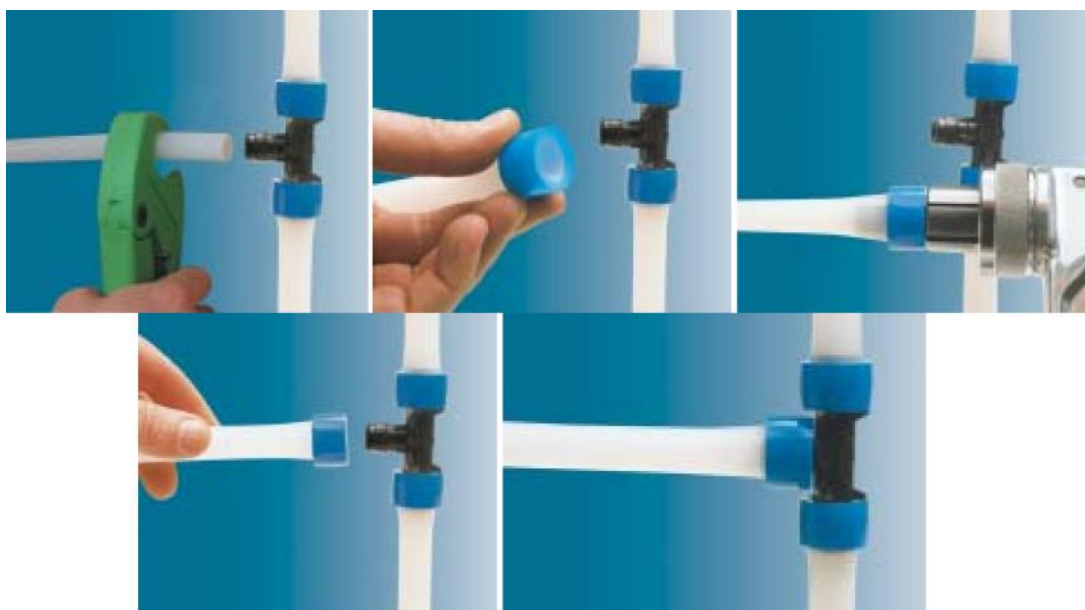


Fig. 42 – Montagem de PE-X utilizando anéis [45]

As abraçadeiras metálicas podem ser utilizadas em diâmetros iguais ou superiores a 32 mm. O bordo interior do tubo deve ser chanfrado e as deformidades exteriores que possam existir, eliminadas. Coloca-se a abraçadeira no sítio correto, encaixa-se no acessório e apertam-se os parafusos (fig. 43).[45]



Fig. 43 – Montagem de PE-X utilizando abraçadeiras metálicas [45]

Os sistemas de pressão possuem um sistema de fecho interior que conecta o tubo ao acessório. Insere-se o tubo, fazendo pressão na direção do acessório e este fica preso no sítio, com um sistema que não permite ao tubo sair novamente nem desconectar-se. Este sistema normalmente é chamado de conexão rápida (fig. 44). Têm na sua constituição um anel de borracha que sela a ligação em volta do tubo.[44]



Fig. 44 – Montagem de PE-X utilizando acessórios de conexão rápida [46]

### 3.3. Polipropileno (PP)

#### 3.3.1. Características

O polipropileno (PP) é um termoplástico constituído por cadeias que cristalizam com o formato helicoidal, mas normalmente possuem também pequenas quantidades



de segmentos desordenados. A percentagem de peso destes componentes influencia as propriedades térmicas e físicas e é habitual ser menor ou igual a 5 % do total.[40]

O polipropileno a utilizar na rede de águas (fig. 45) deverá estar conforme com a NP EN ISO 15874, que considera que existem três tipos diferentes. O PP-H abrange todos os homopolímeros de polipropileno e é obtido pela reação de polimerização entre propilenos. Os outros dois tipos existentes são copolímeros que se formam a partir da reação do propileno com o etileno. Nesta categoria enquadram-se o polipropileno em bloco, PP-B, e o polipropileno *random* (aleatório), PP-R, que devem a sua designação à forma como as cadeias de etileno se fixam na cadeia molecular. O tubo a usar na rede de esgotos, segundo a NP EN 1451, devem ter como base o polipropileno, homopolímero ou copolímero. As características do polipropileno homopolímero e do polipropileno copolímero são diferentes. O propileno é um material frágil a temperaturas da ordem dos 0 °C e a sua resistência ao impacto a temperaturas ambiente também não é muito boa. A sua resistência ao choque melhora notavelmente quando se faz a copolimerização com o etileno.[18][47]



Fig. 45 – Tubos de polipropileno para abastecimento de águas

O valor da MRS é de 6,3 MPa, considerando uma vida útil de 50 anos, que é equivalente à tensão de segurança,  $\sigma_s$ , de 5,0 MPa. As pressões de 2,0 MPa e 2,5 MPa são as mais vulgares e podem ser utilizadas em água quente, assim como a de 1,6 MPa. As classes de valor igual ou inferior a 1,0 MPa só devem ser utilizadas nas redes de água fria.[18]

Na Tabela 11 apresentam-se duas classes de tubos de PP, 1 e 2, com uma temperatura de serviço de 60°C e 70°C, respetivamente. Segundo o Regulamento



Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR) as temperaturas da água na distribuição de água quente não devem exceder ao 60°C, pelo que os tubos de classe 1 são os indicados a nível nacional. Se for necessário manter temperaturas mais elevadas, terá que ser utilizada uma classe superior.

Classe	Temperatura de serviço $T_D$ (°C)	Tempo a $T_D$ (anos)	$T_{max}^b$ (°C)	Tempo a $T_{max}$ (anos)	$T_{mal}^c$ (°C)	Tempo a $T_{mal}$ (h)	Campo de aplicação tipo
1 <sup>a</sup>	60	49	80	1	95	100	Abastecimento de água quente (60°C)
2 <sup>a</sup>	70	49	80	1	95	100	Abastecimento de água quente (70°C)

<sup>a</sup> Um país pode selecionar a classe 1 ou 2 conforme os seus regulamentos nacionais;

<sup>b</sup>  $T_{max}$  – temperatura máxima de serviço;

<sup>c</sup>  $T_{mal}$  – temperatura de mau funcionamento.

**Tabela 11 – Classificação das condições de serviço do PP para abastecimento de águas [47]**

Todos os sistemas que satisfazem as condições na tabela, são adequados também para transportar água fria por um período de 50 anos a uma temperatura de 20 °C e uma pressão de serviço de 10 bar.

Nas tabelas seguintes resumem-se as dimensões de tubos mais utilizadas, para águas e esgotos, respetivamente. No caso dos tubos para abastecimento de água existem as classes A, B1, B2 e C, sendo que as dimensões disponíveis variam. A classe A é a que mais se adequa às redes de águas prediais, pelas dimensões de diâmetros disponíveis.[48]

Dimensão nominal DN/OD	Diâmetro nominal exterior $d_n$ (mm)	Diâmetro exterior médio		Séries de tubos			
		$d_{em,min}$ (mm)	$d_{em,max}$ (mm)	S 5	S 3,2	S 2,5	S 2
				Espessura de parede $e_{min}$ e $e_n$ (mm)			
12	12	12,0	12,3	1,8 <sup>a</sup>	1,8	2,0	2,4
16	16	16,0	16,3	1,8	2,2	2,7	3,3
20	20	20,0	20,3	1,9	2,8	3,4	4,1
25	25	25,0	25,3	2,3	3,5	4,2	5,1
32	32	32,0	32,3	2,9	4,4	5,4	6,5
40	40	40,0	40,4	3,7	5,5	6,7	8,1
50	50	50,0	50,5	4,6	6,9	8,3	10,1
63	63	63,0	63,6	5,8	8,6	10,5	12,7
75	75	75,0	75,7	6,8	10,3	12,5	15,1
90	90	90,0	90,9	8,2	12,3	15,0	18,1
110	110	110,0	111,0	10,0	15,1	18,3	22,1
125	125	125,0	126,2	11,4	17,1	20,8	25,1
140	140	140,0	141,3	12,7	19,2	23,3	28,1
160	160	160,0	161,5	14,6	21,9	26,6	32,1

<sup>a</sup> É permitida uma espessura de parede não preferencial de 1,1 mm para  $d_n = 12$

**Tabela 12 – Dimensões dos tubos de PP da classe A para abastecimento de águas [47]**



Dimensão nominal DN/OD	Diâmetro exterior nominal $d_n$ (mm)	Diâmetro exterior médio	
		$d_{em,min}$ (mm)	$d_{em,max}$ (mm)
32	32	32,0	32,3
40	40	40,0	40,3
50	50	50,0	50,3
63	63	63,0	63,3
75	75	75,0	75,4
80	80	80,0	80,4
90	90	90,0	90,4
110	110	110,0	100,4
125	125	125,0	110,4
140	140	140,0	125,4
160	160	160,0	160,5
200	200	200,0	200,6

**Tabela 13 – Diâmetro exterior médio dos tubos de PP para esgotos [49]**

Existem diferentes níveis de exigência que dependem do local e condições nas quais os tubos de esgoto são instalados, logo a escolha deve ser feita de acordo com o código de zona de aplicação adequado. O código B corresponde às zonas de aplicação dos elementos a serem utilizados acima do solo no interior do edifício ou fixados na parede exterior do edifício. O código D diz respeito às zonas de aplicação a menos de 1 m do edifício, onde os componentes são enterrados e ligados ao sistema de esgoto. Os componentes que podem ser utilizados em ambas as zonas de aplicação descritas têm código BD.[49]

A marcação, para além das características referidas para o polietileno, tem que seguir as instruções da tabela 14 ou 15.

Elementos de marcação	Marca ou símbolo
Número da Norma	EN 15874
Identificação do fabricante e/ou marca comercial	Nome ou símbolo
Diâmetro exterior nominal e espessura de parede nominal	por exemplo, 16 x 2,2
Classe de dimensão dos tubos	por exemplo, A
Material	por exemplo, PP-R
Classe de aplicação associada à pressão de serviço	por exemplo, Classe 1/10 bar
Opacidade <sup>a</sup>	por exemplo, Opaco
Informação do fabricante	<sup>b</sup>
<sup>a</sup> Se declarado pelo fabricante. <sup>b</sup> De forma a assegurar a rastreabilidade, devem ser fornecidos os seguintes elementos: a) O período de fabrico, mês e ano, em algarismos ou em código; b) Um nome ou um código para o local de fabrico, se o fabricante produzir em locais diferentes.	

**Tabela 14 – Marcação mínima requerida para tubos de PP para abastecimento de águas [47]**



A marcação dos tubos de esgoto tem três níveis de legibilidade dependendo da duração que se pretende: a, b ou c. O símbolo a significa que a marcação tem que ter legibilidade durante a utilização da instalação, o símbolo b exige legibilidade até ao sistema ter sido instalado e o símbolo c significa que basta que a marcação na embalagem seja legível até a instalação do componente.[49]

Elementos de marcação	Marca ou símbolo	Durabilidade marcação tubos
Número da Norma	EN 1451	a
Identificação do fabricante e/ou marca comercial	Nome ou símbolo	a
Diâmetro nominal	por exemplo, DN 110	a
Ângulo nominal	por exemplo, 67,5°	-
Mínima espessura de parede	por exemplo, 3,4	a
Material <sup>1)</sup>	PP ou PP-H	a
Código da zona de aplicação	"B" ou "BD"	a
Para aplicação na zona "BD": Séries do tubo	por exemplo, S 16	a
Classe MRF <sup>2)</sup>	por exemplo, MFR-A	b
Performance em climas frios <sup>3)</sup>	* (cristais de gelo)	a
Informação do fabricante <sup>4)</sup>		a

1) Os tubos marcados com "PP" são de PP copolímero. Os tubos de PP homopolímero devem ser marcados "PP-H".  
2) Para tubos com ligações topo a topo.  
3) Esta marcação só é aplicável a tubos sujeitos a testes comprovadamente conformes com o ponto 7.2 da EN 1451-1:2000 (instalação a temperaturas inferiores a -10°C).  
4) De forma a assegurar a rastreabilidade, devem ser fornecidos os seguintes elementos:  
a) O período de fabrico, mês e ano, em algarismos ou em código;  
b) Um nome ou um código para o local de fabrico, se o fabricante produzir em locais diferentes.

**Tabela 15 - Marcação mínima requerida para tubos de PP para esgotos [49]**

### 3.3.2. Vantagens e desvantagens

O polipropileno é um material económico que oferece uma combinação excelente de aptidões físicas, químicas, mecânicas, térmicas e elétricas não existentes noutros termoplásticos. Este é o menos denso dos materiais plásticos utilizados hoje em dia para canalização, a sua leveza facilita o manuseamento e montagem. O seu coeficiente de atrito é baixo.[26][33]

Este plástico tem uma resistência elevada ao enxofre e seus derivados e suporta uma ampla gama de efluentes corrosivos e sanitários. Apresenta maior resistência a solventes orgânicos, em relação a outros tubos plásticos e é ligeiramente menos rígido que o PVC. A sua densidade é pouco inferior à do PE, mas são muito mais rígidos, mais resistentes ao calor e apresentam a mesma resistência química e elétrica. Pode



ser utilizado para abastecimento de águas frias e quentes, drenagem de águas pluviais e residuais.[50][41]

Os tubos de polipropileno (fig. 46) requerem equipamento e pessoal especializado para executar as uniões soldadas, o que encarece a mão-de-obra. Esta desvantagem está no entanto diretamente ligada a uma das suas vantagens, pois quando se executam as uniões corretamente, estas são de muito boa qualidade. Nestas uniões o material do tubo e do acessório fica fundido entre si, o que leva a um entrosamento que garante o comportamento igual ao de uma única peça. A sua rigidez não permite pequenas mudanças de direção sem a utilização de acessórios, que são também de polipropileno. Os tubos de polipropileno podem ser aplicados nas redes de água fria, quente e também nos esgotos, sendo geralmente comercializados em varas.[26]



Fig. 46 - Instalação de tubos de polipropileno

### 3.3.3. Ligações

As uniões entre os troços são feitas tendo em conta qual o tipo de PP em questão e podem ser utilizados sistemas de ligação mecânicos ou de soldadura.

No que diz respeito às redes de abastecimento de água, as ligações mecânicas só costumam ser utilizadas nas extremidades das redes e são normalmente de polipropileno com rosca metálica. Os sistemas de soldadura podem ser de topo a topo ou então de fusão entre tubo e acessório, sendo que neste último caso se pode utilizar uma máquina polifusora ou então acessórios eletrossoldáveis.[26]

Em particular para a tubagem de esgoto, o sistema utilizado é o da união por anel elastómero, na gíria designado por *o-ring*.

### 3.3.3.1. Sistema de soldadura topo a topo

O sistema de ligação por soldadura topo a topo (fig. 47) é habitualmente utilizado nos diâmetros maiores, entre 160 e 250 mm, que não costumam ser utilizados nas redes prediais. Embora não seja uma escolha vantajosa no geral, poderá sê-lo em alguma situação em particular, por isso far-se-á uma breve descrição deste método.

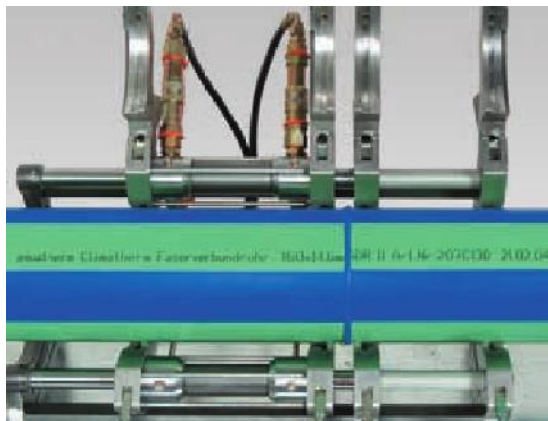


Fig. 47 – Soldadura topo a topo de tubos de polipropileno [51]

O processo de soldadura deve acontecer num local ao abrigo das influências atmosféricas. Após colocar a máquina de soldar em aquecimento, cortam-se os tubos em esquadria (fig. 48). Os tubos são alinhados e fixados e retiram-se as aparas das extremidades a soldar.[51]



Fig. 48 – Corte em esquadria de tubos de polipropileno [51]

A temperatura das placas que vão fazer o material entrar em fusão deve situar-se nos  $210^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ . Terminado o tempo de aquecimento, extraem-se as placas e unem-

se os tubos com a pressão adequada, até arrefecerem e aí a ligação estará pronta (fig. 49).[51]

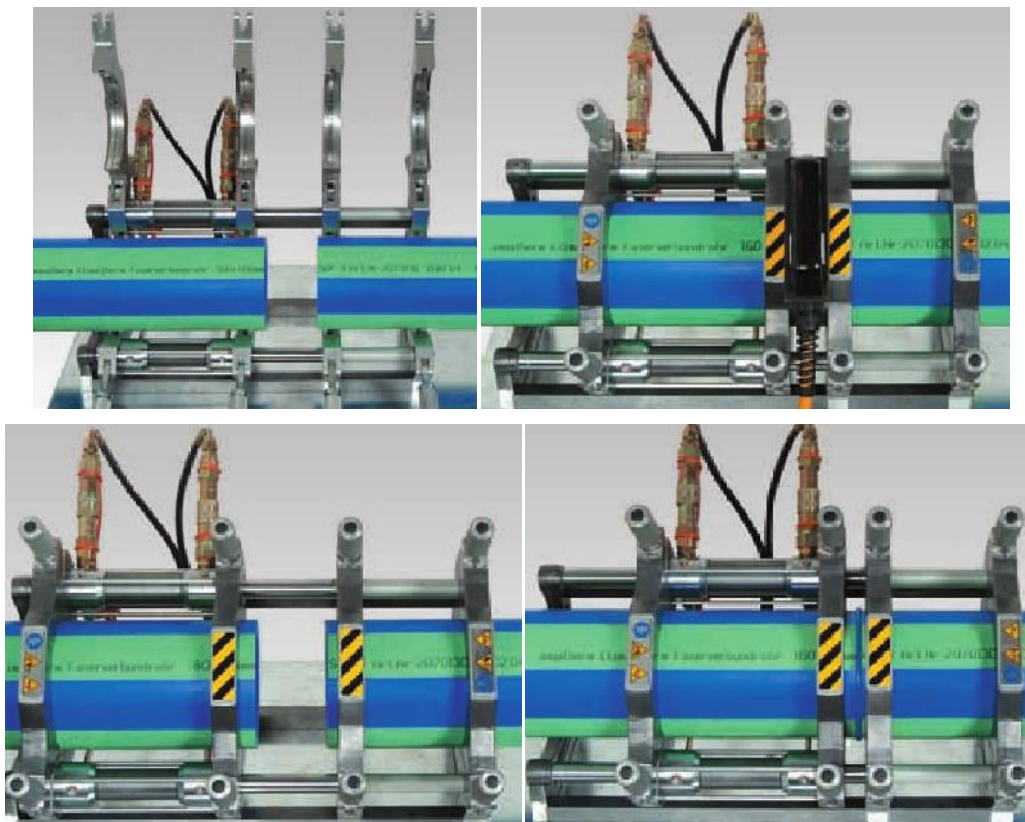


Fig. 49 – Procedimento de soldadura topo a topo em tubos de polipropileno [51]

### 3.3.3.2. Sistema de soldadura por fusão

O processo de soldadura por fusão entre o acessório e o tubo (fig. 50) é o que mais se utiliza na instalação de redes de polipropileno para abastecimento de água.



Fig. 50 – Soldadura por fusão de tubos de polipropileno

A fusão na maioria dos casos é feita com recurso a máquina polifusora (fig. 51), mas também podem ser utilizados acessórios eletrossoldáveis.

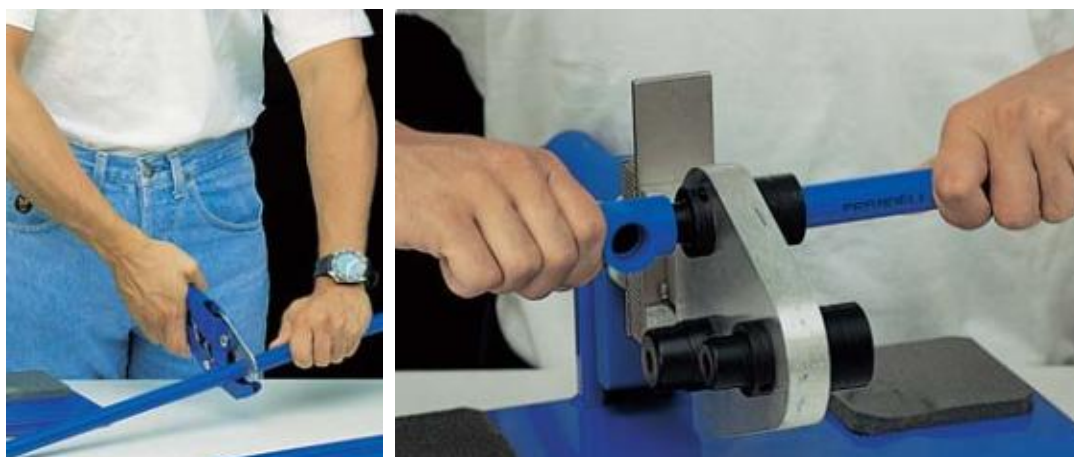


**Fig. 51 – Máquina polifusora**

A utilização do método de soldadura com máquina polifusora é feita com acessórios de ligação adequados (fig. 52). Escolhe-se a matriz respeitante ao diâmetro em causa e coloca-se na máquina, dando início ao aquecimento. Entretanto corta-se o tubo à esquadria com tesoura adequada e limpam-se as peças a utilizar. Depois de atingida a temperatura de trabalho, que é aproximadamente de 260°C, pode-se dar início à ligação. Coloca-se o tubo e o acessório na matriz correspondente, seguindo as recomendações do fabricante em relação ao tempo de trabalho (fig. 53).[52]



**Fig. 52 – Acessórios de ligação de polipropileno para soldadura por fusão**



**Fig. 53 – Corte do polipropileno e colocação na polifusora [53]**

Depois do aquecimento insere-se o tubo no acessório, de forma a empurrar o tubo contra o acessório (fig. 54). Pode-se reajustar a posição durante os primeiros instantes após a fusão térmica.[52]



**Fig. 54 – Inserção do tubo de polipropileno no acessório [53]**

O método de soldadura por fusão com utilização de acessórios eletrossoldáveis é muito semelhante ao utilizado nos tubos de polietileno. Este tipo de ligação é muito utilizado também para intervenções de reparação em obra.

Corta-se o tubo em ângulo reto e limpa-se a superfície a unir com um pano limpo. Raspa-se a área de união com o propósito de anular os efeitos negativos do oxigénio presente na parede exterior do tubo. A apar resultante deve ser consistente. A raspagem é feita com os acessórios ou ferramentas adequados (fig. 55 e fig. 56), de acordo com as recomendações do fabricante.[52]

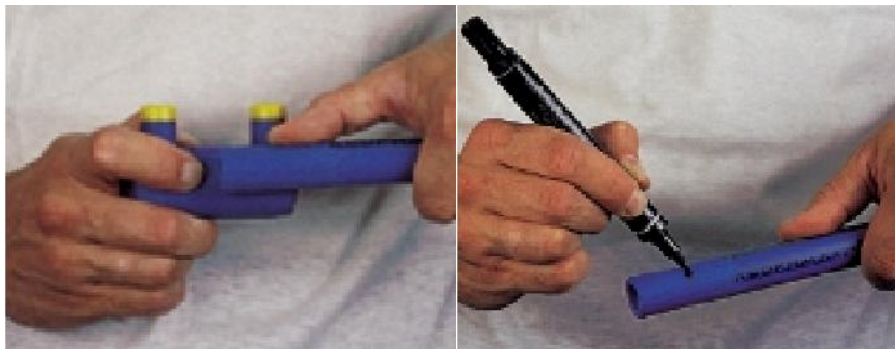


**Fig. 55 – Raspagem do tubo de polipropileno com raspador [53]**



**Fig. 56 – Raspagem do tubo de polipropileno com fresadora [51]**

Marca-se a profundidade nos tubos e inserem-se estes dentro dos acessórios, de forma a juntar bem as extremidades, ficando alinhados.



**Fig. 57 – Marcação da profundidade nos tubos de polipropileno [53]**

Prepara-se a máquina soldadora e colocam-se os bornes nos terminais do acessório sem interferir nas juntas. Pode-se então executar a soldadura, tendo em conta que a tubagem não pode ser solicitada durante os 10 minutos seguintes à soldadura (fig. 59). Não se deve submeter a instalação à pressão de trabalho antes de um período de 1 hora, no mínimo.[52]



Fig. 58 – Execução de eletrossoldadura em tubos de polipropileno [53]

### 3.3.3.3. Sistema de união por anel elastómero

O sistema de união por anel elastómero nos tubos de polipropileno é utilizado em águas pluviais e residuais. A sua montagem é por simples junção tendo em conta que o anel deve ficar na posição correta para vedar a ligação.

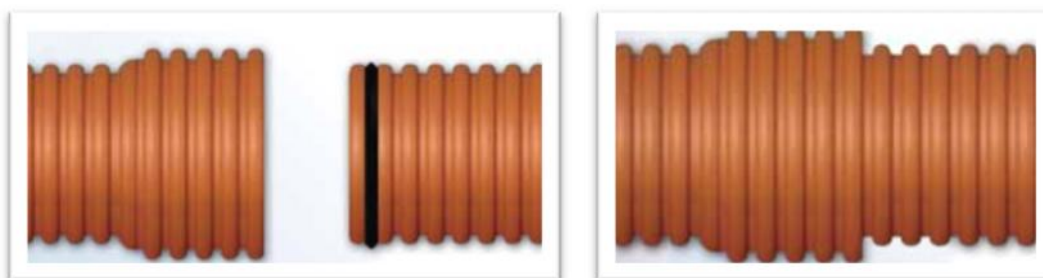


Fig. 59 – União de polipropileno com anel elastómero [46]

## 3.4. Polibutileno (PB)

### 3.4.1. Características

O polibutileno (fig. 60) é um termoplástico semelhante ao polipropileno e ao polietileno de alta densidade, mas tem uma estrutura mais cristalina. Os homopolímeros de polibutileno são constituídos pela polimerização de cadeias de butileno que são fundamentalmente isotáticas, como as de polipropileno. A sua cristalinidade leva a uma resistência anormalmente elevada e a uma resistência à deformação extrema, para uma gama de temperaturas aproximadamente entre -23 °C

e 88°C. A sua estrutura resulta num material semelhante à borracha. O polímero sólido existe em quatro formas diferentes, sendo a mais estável a que entra em fusão entre os 125 °C e os 130 °C, as outras fundem a temperaturas inferiores.[50][40]



Fig. 60 – Tubo de polibutileno [54]

Os tubos de polibutileno são normalmente de cor branca ou cinza claro e são fornecidos em varas de 3 ou 6 metros. Os tubos são classificados segundo séries e a escolha é feita tendo em conta a classe de aplicação e a pressão de projeto.

Dimensão nominal DN/OD	Diâmetro exterior nominal $d_n$ (mm)	Diâmetro exterior médio (mm)		Séries de tubo					
				S 10	S 8	S 6,3	S 5	S 4	S 3,2
		$d_{em,min}$	$d_{em,max}$	Espessura de parede (mm) $e_{min}$ e $e_n$					
12	12	12,0	12,3	1,3 <sup>a</sup>	1,3 <sup>a</sup>	1,3 <sup>a</sup>	1,3 <sup>a</sup>	1,4	1,7
16	16	16,0	16,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,8	2,2
20	20	20,0	20,3	1,3	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8
25	25	25,0	25,3	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,5
32	32	32,0	32,3	1,6	1,9	2,4	2,9	3,6	4,4
40	40	40,0	40,4	1,9	2,4	2,9	3,7	4,5	5,5
50	50	50,0	50,5	2,4	3,0	3,7	4,6	5,6	6,9
63	63	63,0	63,6	3,0	3,8	4,7	5,8	7,1	8,6
75	75	75,0	75,7	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4	10,3
90	90	90,0	90,9	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1	12,3
110	110	110,0	111,0	5,3	6,6	8,1	10,0	12,3	15,1

<sup>a</sup> É permitida uma espessura de parede não preferencial de 1,1 mm para  $d_n = 12$

Tabela 16 – Dimensões dos tubos de PP da classe A para abastecimento de águas [55]

A marcação dos tubos de polibutileno, para além das características gerais que deve respeitar, tem que seguir as instruções da tabela 17.



Elementos de marcação	Marca ou símbolo
Número da Norma	EN 15876
Identificação do fabricante e/ou marca comercial	Nome ou símbolo
Diâmetro exterior nominal e espessura de parede	por exemplo, 22 x 2,0
Classe de dimensão dos tubos	por exemplo, B1
Material	por exemplo, PB
Classe de aplicação associada à pressão de serviço	por exemplo, Classe 1/P10 bar
Opacidade <sup>a</sup>	por exemplo, Opaco
Informação do fabricante	<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Se declarado pelo fabricante.  
<sup>b</sup> De forma a assegurar a rastreabilidade, devem ser fornecidos os seguintes elementos:  
a) O período de fabrico, mês e ano, em algarismos ou em código;  
b) Um nome ou um código para o local de fabrico, se o fabricante produzir em locais diferentes.

**Tabela 17 – Marcação mínima requerida para tubos de PB para abastecimento de águas [55]**

### 3.4.2. Vantagens e desvantagens

O polibutileno tem duas vantagens principais em relação ao polietileno, possui uma maior resistência à tração e é menos afetado pelos extremos de temperatura. O polibutileno tem uma rigidez inferior ao polietileno, mas tem uma resistência superior. Apresenta uma boa resistência à abrasão, fluência, detergentes, maioria dos ácidos e bases e solventes a baixas temperaturas. A sua flexibilidade e sua superfície interna muito lisa, que não permite a formação de calcário e depósitos, são outros dos seus pontos fortes. O polibutileno é atacado por alguns hidrocarbonetos aromáticos e solventes clorados. A sua utilização é mais habitual nas redes de água, sendo uma boa alternativa ao cobre.[29][41]

### 3.4.3. Ligações

As uniões entre tubos de polibutileno podem ser feitas com recurso a acessórios mecânicos, com abocardado para soldadura ou eletrossoldáveis. A ligação mecânica é feita com acessórios em plástico ou metal. A ligação através de soldadura só pode ser feita com materiais plásticos.

O método de união com soldadura ou acessórios eletrossoldáveis é similar ao utilizado no polietileno, por isso optou-se por descrever mais em pormenor apenas o sistema de ligação mecânica.

### 3.4.3.1. Sistema de ligação mecânica

Este método é o mais utilizado na montagem de polibutileno porque é rápido e simples sem comprometer a estanquidade.

O tubo é cortado em esquadria com uma tesoura ou um corta-tubos profissional (fig. 61). Retiram-se as rebarbas e introduz-se o casquilho no interior do tubo (fig. 62). Com uma caneta apropriada marca-se a distância de penetração da tubagem no acessório [54].

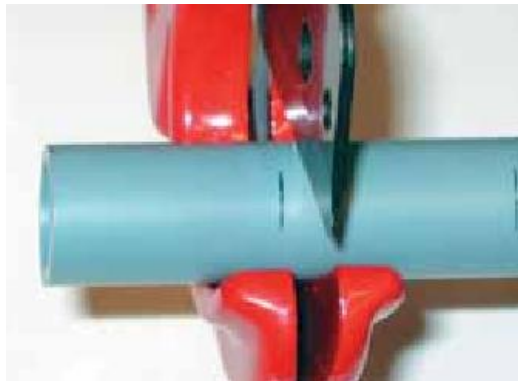


Fig. 61 – Corte do tubo de PB [54]



Fig. 62- Inserção do casquilho no tubo de PB [54]

Limpa-se e lubrifica-se o exterior do tubo e o interior do acessório, sobretudo o *O-ring* para auxiliar o deslize do tubo no interior do acessório (fig. 63). Insere-se o tubo no acessório até que a distância de penetração atinja a marca (fig. 64), o que indica que se conseguiu alcançar o fundo do acessório e assim garantir uma união segura. Para atestar que o anel de retenção fica bem preso, segura-se o acessório e puxa-se o tubo firmemente [54].



Fig. 63 – Lubrificação do interior do acessório de PB [54]



Fig. 64 – Inserção do tubo de PB no acessório [54]

### 3.5. Policloreto de vinilo (PVC)

#### 3.5.1. Características

O policloreto de vinilo (PVC) (fig. 65) é um termoplástico e tem a maior variedade de aplicações nos sistemas de canalização. A sua utilização tem crescido mais rapidamente que a de outros plásticos. Este é um dos tubos mais fortes e mais utilizados.[29][33]

Os avanços que surgiram no equipamento de extrusão e moldagem e na disponibilidade de aditivos estabilizantes e lubrificantes permitiram a extrusão de um material mais rígido. Estas composições não são plastificadas, por isso identificam-se como policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U) ou policloreto de vinilo rígido. O tubo é fabricado unicamente com recurso a compostos sem plastificantes e uma quantidade mínima de outros materiais. Este material é utilizado para abastecimento

de água ou esgotos com pressão, de acordo com a NP EN ISO 1452 e esgoto sem pressão, seguindo as diretrizes da NP EN 1329. A cor dos tubos deve ser uniforme ao longo da parede destes.[29][39]



Fig. 65 – Tubos de policloreto de vinilo

Diâmetro nominal exterior $d_n$ (mm)	Tolerância diâmetro exterior médio $d_{em}^a$ x (mm)
12	0,2
16	0,2
20	0,2
25	0,2
32	0,2
40	0,2
50	0,2
63	0,3
75	0,3
90	0,3
110	0,4
125	0,4
140	0,5
160	0,5
180	0,6
200	0,6

Tabela 18 – Diâmetro exterior nominal e tolerâncias de tubos de PVC-U para abastecimento de água ou esgoto sob pressão [56]



No abastecimento de esgoto sem pressão a cor a aplicar é o cinzento e os diâmetros mais utilizados são os que constam na tabela 19.[57]

Dimensão nominal DN/OD	Diâmetro exterior nominal $d_n$ (mm)	Diâmetro exterior médio (mm)	
		$d_{em,min}$	$d_{em,max}$
32	32	32,0	32,2
40	40	40,0	40,2
50	50	50,0	50,2
63	63	63,0	63,2
75	75	75,0	75,3
80	80	80,0	80,3
82	82	82,0	82,3
90	90	90,0	90,3
110	110	110,0	110,3
125	125	125,0	125,3
140	140	140,0	140,4
160	160	160,0	160,4
180	180	180,0	180,4
200	200	200,0	200,5

Tabela 19 – Diâmetros exteriores médios (séries métricas) de tubos de PVC-U para esgoto [57]

Outra forma de apresentação do PVC é sob a forma de policloreto de vinilo clorado (PVC-C), conseguida por alteração química, que possui um átomo de cloro a mais na sua estrutura. Assim consegue-se um material com menos limitações à temperatura de serviço que o PVC, que resiste melhor a temperaturas mais elevadas. Nas tabelas seguintes estão descritos os diâmetros utilizados respetivamente para águas e esgoto.

Dimensão nominal DN/OD	Diâmetro exterior nominal $d_n$ (mm)	Diâmetro exterior médio (mm)		Séries de tubo		
				S 6,3	S 5	S 4
		$d_{em,min}$	$d_{em,max}$	Espessura de parede (mm) $e_{min}$ e $e_n$		
12	12	12,0	12,2	1,4	1,4	1,4
14	14	14,0	14,2	1,4	1,4	1,6
16	16	16,0	16,2	1,4	1,5	1,8
20	20	20,0	20,2	1,5	1,9	2,3
25	25	25,0	25,2	1,9	2,3	2,8
32	32	32,0	32,2	2,4	2,9	3,6
40	40	40,0	40,2	3,0	3,7	4,5
50	50	50,0	50,2	3,7	4,6	5,6
63	63	63,0	63,3	4,7	5,8	7,1
75	75	75,0	75,3	5,6	6,8	8,4
90	90	90,0	90,3	6,7	8,2	10,1
110	110	110,0	110,4	8,1	10,0	12,3
125	125	125,0	125,4	9,2	11,4	14,0
140	140	140,0	140,5	10,3	12,7	15,7
160	160	160,0	160,5	11,8	14,6	17,9

NOTA: Dimensões conformes com a ISO 4065 e aplicáveis a todas as classes de condições de serviço.

Tabela 20 – Diâmetros e espessuras de parede de tubos de PVC-C para abastecimento de água [58]



Dimensão nominal DN/OD	Diâmetro exterior nominal $d_n$ (mm)	Diâmetro exterior médio (mm)	
		$d_{em,min}$	$d_{em,max}$
32	32	32,0	32,3
40	40	40,0	40,3
50	50	50,0	50,3
63	63	63,0	63,3
75	75	75,0	75,4
80	80	80,0	80,4
90	90	90,0	90,4
100	100	100,0	100,4
110	110	110,0	110,4
125	125	125,0	125,4
160	160	160,0	160,5

Tabela 21 – Diâmetros exteriores médios (séries métricas) de tubos de PVC-C para esgoto [59]

A marcação mínima para o PVC-U a utilizar em abastecimento de águas ou esgoto sob pressão deve cumprir as recomendações da tabela 22 e para esgoto sem pressão as da tabela 23.

Aspecto	Marca ou símbolo
Número da Norma	ISO 1452
Identificação do fabricante e/ou marca comercial	Nome ou símbolo
Diâmetro exterior nominal $d_n$ x espessura de parede $e_n$	por exemplo, 110 x 6,6
Material	PVC-U
Pressão nominal PN <sup>a</sup>	PN 16
Informação do fabricante <sup>b</sup>	por exemplo, 90-06-14
Uso pretendido <sup>c</sup>	Por exemplo W/P

<sup>a</sup> Pode ser incluída a marcação de tubos da série S, por exemplo PN16/S8.  
<sup>b</sup> De forma a assegurar a rastreabilidade, devem ser fornecidos os seguintes elementos:  
a) O período de fabrico, mês e ano, em algarismos ou em código;  
b) Um nome ou um código para o local de fabrico, se o fabricante produzir em locais diferentes.  
c) Identificação da linha de extrusão, se relevante.  
<sup>c</sup> Para informações sobre abreviações, consultar CEN/TR 15438 e/ou normas nacionais.

Tabela 22 – Marcação mínima requerida para os tubos e acessórios de PVC-U para águas ou esgoto sob pressão [60]

Aspetto	Marcação ou símbolo	Durabilidade marcação tubos
Número da Norma	EN 1329	a
Identificação do fabricante e/ou marca comercial	Nome ou símbolo	a
Diâmetro nominal	por exemplo, 110	a
Espessura de parede mínima	por exemplo, 3,2	a
Material	PVC ou PVC-U	a
Código da zona de aplicação	por exemplo BD	a
Para aplicação na zona "BD": Rigidez circunferencial nominal	por exemplo, SN 4	a
Desempenho em clima frio <sup>2)</sup>	* (cristais de gelo)	a
Informação do fabricante	<sup>1)</sup>	a
Exclusivamente para colagem	S.C.O. <sup>4)</sup>	-

Tabela 23 - Marcação mínima requerida para os tubos e acessórios de PVC-U para esgoto [60]



Os tubos de PVC-C deverão cumprir os requisitos das tabelas seguintes, para abastecimento de águas e esgoto.

Aspetto	Marca ou símbolo
Número da Norma	ISO 15877
Identificação do fabricante e/ou marca comercial	Nome ou símbolo
Diâmetro exterior nominal x espessura de parede	por exemplo, 32 x 3,6
Material	PVC-C-Tipo I ou PVC-C-Tipo II <sup>a</sup>
Classe de aplicação e pressão de projeto	por exemplo, Classe 2/10 bar
Informação do fabricante	<sup>b</sup>
Opacidade <sup>c</sup>	por exemplo, opaco
<sup>a</sup> Os sistemas com a marcação PVC-C consideram-se de PVC-C-Tipo I. <sup>b</sup> De forma a assegurar a rastreabilidade, devem ser fornecidos os seguintes elementos: a) O período de fabrico, mês e ano, em algarismos ou em código; b) Um nome ou um código para o local de fabrico, se o fabricante produzir em locais diferentes. c) Identificação da linha de extrusão, se relevante. <sup>c</sup> Se declarado pelo fabricante.	

**Tabela 24 – Mínima marcação requerida para tubos de PVC-C para abastecimento de águas [58]**

Aspetto	Marcação ou símbolo	Durabilidade marcação tubos
Número da Norma	EN 1566	a
Identificação do fabricante e/ou marca comercial	Nome ou símbolo	a
Dimensão nominal	por exemplo, DN 110	a
Espessura de parede mínima	por exemplo, 3,2	a
Material <sup>1)</sup>	PVC-C	a
Código da zona de aplicação	“B” ou “BD”	a
Para aplicação na zona “BD”: Série dos tubos	por exemplo, S 16,7	a
Tipo de embocadura	por exemplo N	b
Desempenho em clima frio <sup>1)</sup>	* (cristal de gelo)	b
Informação do fabricante	<sup>2)</sup>	a
1) Esta marcação aplica-se apenas aos tubos que, depois de ensaiados estão conformes 7.2 2) Para permitir a rastreabilidade, devem ser mencionados os seguintes detalhes: a) O período de fabrico, mês e ano, em algarismos ou em código; b) Um nome ou um código para o local de fabrico, se o fabricante produzir em locais diferentes.		

**Tabela 25 – Marcação mínima exigida para os tubos de PVC-C para esgoto [59]**

### 3.5.2. Vantagens e desvantagens

O PVC rígido apresenta, em comparação com os termoplásticos mais utilizados, uma grande resistência e rigidez a um menor preço por volume, o que faz com que seja líder. O seu processamento e fabrico são fáceis, mas é objeto de alguma

controvérsia acerca do seu impacte ambiental. O conteúdo de cloro constitui cerca de 57% do peso da molécula, logo o PVC-U não necessita de tanto petróleo na sua produção quanto os outros plásticos. A polémica existe devido ao impacte ambiental das dioxinas libertadas durante o seu fabrico ou na eliminação por incineração. Tem sido difícil a reciclagem a nível industrial, devido à falta de consumidores para o produto reciclado, mas as tecnologias mais recentes deverão permitir uma reciclagem mais económica e com impacte ambiental reduzido. Os fabricantes de tubos em PVC-U afirmam reciclar aproximadamente 100% dos resíduos do produto.[60][29]

Este material é leve, o que simplifica o seu manuseamento e instalação, as uniões são fáceis de executar e possui um pequeno coeficiente de atrito. Apresenta uma boa resistência química a uma gama de fluidos corrosivos muito variada. Os materiais com um baixo módulo de elasticidade, como é o caso, utilizados nas canalizações provocam menores vagas de pressões, o que é vantajoso.[18][60]

O PVC-U demonstra alguma fragilidade aos entalhes e ao choque, particularmente a baixas temperaturas. Os tubos podem sofrer degradação quando submetidos à ação da radiação solar durante longos períodos de tempo, apesar de na sua constituição existirem estabilizantes para prevenir a degradação ultravioleta, A aplicação destes tubos é mais indicada para o interior de edifícios (fig. 66) ou em soluções enterradas. Os tubos não devem ser instalados acima do solo, em locais expostos à radiação solar, mas se o forem devem ser protegidos adequadamente. A proteção pode ser feita com a aplicação de uma tinta látex.[18]



**Fig. 66 - Instalação de tubos de PVC-U**



O suporte em caso de instalação aérea pode ser cara, é necessário evitar a curvatura excessiva dos tubos. Uma grande desvantagem deste material é não ser adequado para a circulação de água quente, a sua resistência diminui drasticamente quando a temperatura sobe acima da temperatura média ambiente. A variedade de diâmetros disponíveis no mercado é muito grande, assim pode-se escolher um tubo que seja mais adequado à situação em causa.[60][41]

O PVC-C tem propriedades semelhantes ao PVC-U, com a vantagem de poder ser aplicado em tubagem de água quente. O teor de cloro atinge valores da ordem dos 65% ou superiores. A rigidez deste material obriga à utilização de acessórios, mesmo em pequenas mudanças de direção. O seu custo mais elevado restringe a sua aplicação, embora já venha a substituir o cobre em muitas áreas.[34]

### 3.5.3. Ligações

Os tubos de PVC para aplicação nas redes de água são unidos através de anel de estanquidade com elastómero, colagem, acessórios de compressão ou flanges. Para aplicação nas redes de esgoto são utilizadas a colagem ou anel de estanquidade. O tipo de ligações aplicado é semelhante para o PVC-U e PVC-C.

#### 3.5.3.1. Sistema de união com anel elastómero

Este método é o mais simples e económico para a união dos tubos de PVC. Os acessórios são normalmente do mesmo material que as tubagens. A união faz-se através de abocardamento com anel de estanquidade em borracha, os acessórios ou o tubo têm habitualmente uma ponta lisa e outra abocardada (fig. 67). Os tubos também podem ser lisos e os acessórios abocardados em ambas as pontas.[38][34]



Fig. 67 – Abocardamento com anel de estanquidade [55]

Quando se utiliza este sistema é necessário ter em conta que não sustentem esforços axiais, logo o projeto e localização dos blocos de ancoragem assumem um papel importante.

Chanfra-se a extremidade lisa do tubo e marca-se o comprimento do enfiamento na ponta abocardada, deixando algum espaço de tubo livre para possíveis dilatações. Verifica-se se o anel está na sua posição e, se necessário, procede-se à limpeza da ranhura de alojamento do anel (fig. 68). Lubrifica-se a extremidade lisa e o anel já colocado, com vaselina sólida, por exemplo (fig. 69). Coloca-se o tubo na abertura e insere-se até atingir o anel, depois empurra-se firmemente até à linha de referência (fig. 70).[34]

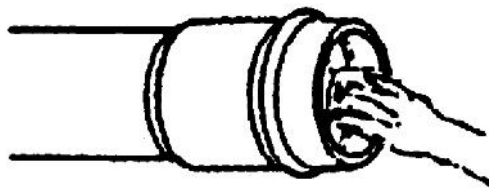


Fig. 68 – Limpeza da ranhura [39]

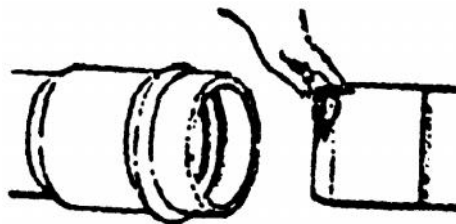


Fig. 69 – Lubrificação da extremidade [39]

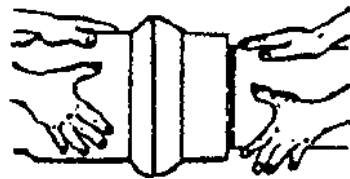


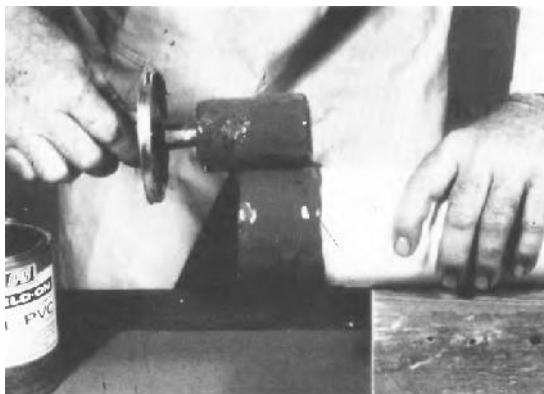
Fig. 70 – Inserção do tubo [39]

### 3.5.3.2. Sistema de união por colagem

Este método de ligação é muito utilizado em pequenos diâmetros, tratando-se de um sistema simples. Apesar de vulgarmente se chamar colagem a este tipo de união o que acontece realmente é uma soldadura. A cola provoca o amolecimento e solvência local do PVC, que leva à soldadura dos elementos.[33]



Os tubos de PVC devem ser cortados em esquadria e chanfrados. A superfície interior e exterior das pontas a unir deve estar seca, limpa, sem quaisquer detritos. Extraem-se as rebarbas e utiliza-se um produto de limpeza apropriado para desengordurar as superfícies a colar. Para que a aderência seja maior procede-se ao despolimento das superfícies com uma lixa fina. Aplica-se uma camada fina de cola nas extremidades a unir, com rapidez, sobre a superfície do elemento macho (fig. 71) e à entrada do abocardado(fig. 72).[26]



**Fig. 71 – Aplicação da cola no elemento macho [39]**



**Fig. 72- Aplicação da cola no abocardado [39]**

Faz-se a junção das extremidades e segura-se até que esteja totalmente fundido, para que não deslize (fig. 73). Se existir excesso na junta exterior deve ser retirado assim que se executar a união (fig. 74). Apenas após a secagem completa da cola é que se podem colocar as tubagens em serviço.[26]



**Fig. 73 – União das extremidades [39]**



**Fig. 74 – Remoção do excesso de cola [39]**



#### 4. Transporte, armazenamento e manuseamento

O transporte, receção, armazenamento e manuseamento dos tubos são etapas por vezes descuradas, embora sejam importantes para a durabilidade e desempenho da instalação. Uma instalação bem sucedida inicia-se no projeto e termina com o teste e colocação do sistema em funcionamento, passando pelas fases atrás referidas. Se os materiais não forem manuseados adequadamente podem ficar danificados, isso pode ser descoberto apenas aquando do teste da instalação, o que levará a uma perda de tempo e dinheiro na substituição dos tubos já instalados.[33]

O conhecimento e compreensão dos materiais com os quais se trabalha são essenciais para o sucesso de uma instalação. Estes devem ser manuseados de acordo com as suas características.[33]

Existem alguns tipos de plásticos que podem ficar danificados apenas devido a alguns riscos na sua superfície. Estes riscos podem ser feitos ao manusear bruscamente, arrastar ou simplesmente deixar cair no chão. Para se saber se o material do tubo que se está a utilizar é mais ou menos sensível a escoriações pode-se recorrer ao teste de impacto Izod. O teste consiste em libertar um pêndulo de massa conhecida contra o material a testar, que é fixo numa extremidade e na posição vertical na base da máquina de impacto.[39]

A forma como se faz o armazenamento não deverá provocar nenhuma alteração nas dimensões do tubo. A zona escolhida não deverá causar danos na superfície do tubo, é aconselhável uma área plana e regular, sem objetos cortantes, pedras e projeções.[61]

Os raios ultravioleta presentes na radiação solar podem degradar os plásticos. O armazenamento a longo prazo de tubos e acessórios plásticos deve ser feito ao abrigo da luz, numa zona coberta e ventilada. Se tal não for possível deverão ser protegidos da luz com um material opaco (fig. 75), como uma tela ou filme de polietileno, que permita alguma circulação de ar em volta dos tubos para não permitir uma acumulação de calor elevada.[33]

Os tubos devem ser mantidos limpos, secos, sem gelo e preparados para serem instalados. Se os tubos forem empilhados com muita altura sobre si mesmos a deflexão a que ficam sujeitos pode afetar o seu diâmetro a um nível inaceitável. Devem-se evitar empilhamentos de tubos superiores a um metro de altura (fig. 76).

Quando se tratam de rolos, devem-se colocar deitados. A altura de empilhamento aconselhada para os rolos é no máximo 1,50m.[38][39]

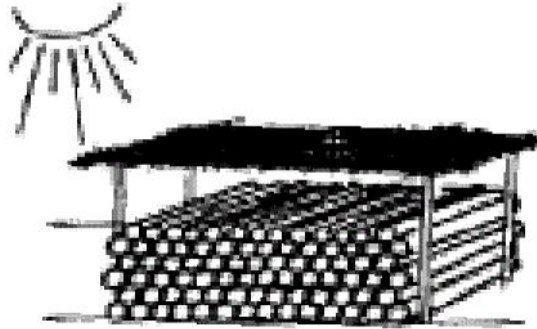


Fig. 75 – Armazenamento de tubos [55]

Os tubos de plástico com embocadura devem ser empilhados com as embocaduras alternadas dentro da pilha. Estas devem ficar projetadas o suficiente para permitir que os tubos fiquem bem apoiados em todo o seu comprimento [62].

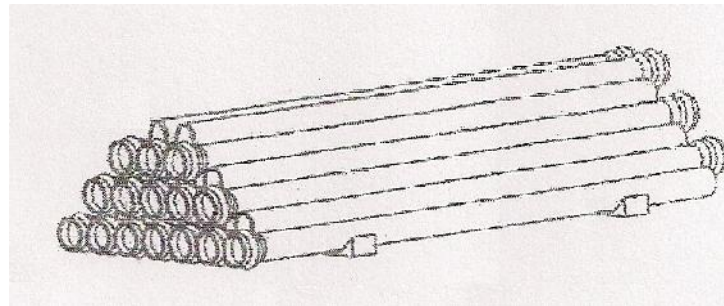


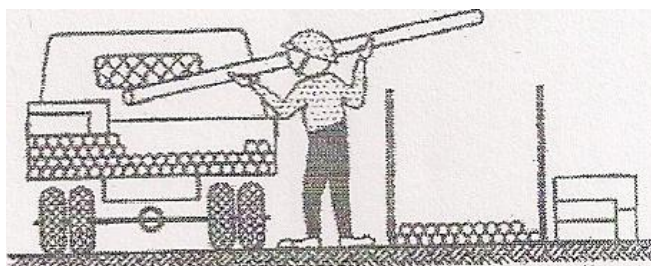
Fig. 76 – Empilhamento de tubos [62]

As embalagens originais devem ser utilizadas tanto quanto possível ao armazenar, transportar e manusear os tubos. Os tampões, tomadas de carga ou embalagens que sejam fornecidos em conjunto com os tubos não devem ser removidos até à colocação dos tubos no local. O contato com combustíveis, solventes e tintas não deve existir e o armazenamento deve ser efetuado longe de fontes de calor. Os tubos e acessórios devem ser aplicados em função da data de fabrico, do mais antigo para o mais recente, para garantir uma rotação de *stock* bem-feita [61].

O manuseamento individual dos tubos deve ser feito de forma controlada, quando forem descarregados, carregados e transportados. Os tubos não devem ser atirados, deixados cair ou arrastados (fig. 77 e fig. 78). Quando os tubos estão acondicionados em paletes é necessária a utilização de equipamento mecânico apropriado, que não cause danos. Não deve existir contato entre os tubos e os cabos, ganchos e correntes metálicas, devendo estes ser protegido [62].

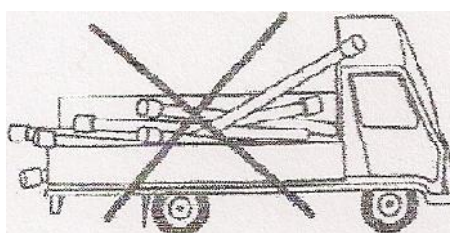


**Fig. 77 – Descarregamento de tubos de forma errada [62]**

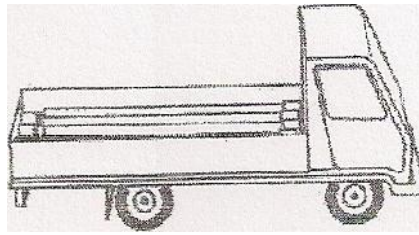


**Fig. 78 – Descarregamento de tubos de forma correta [62]**

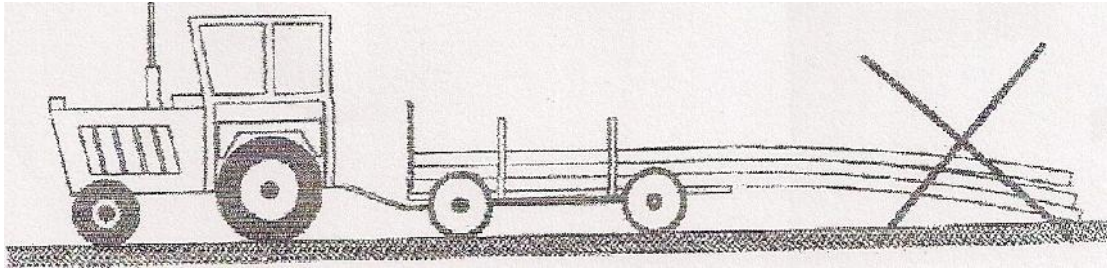
Os veículos utilizados para transportar tubos devem ter um estrado plano. O estrado deverá estar livre de pregos, cavilhas ou quaisquer outras saliências. Se possível, os tubos devem ser colocados uniformemente no fundo do veículo em todo o seu comprimento (fig. 79 e fig. 80). Os tubos devem-se amarrar apropriadamente para o transporte. Os veículos devem possuir suportes laterais adequados, planos e sem arestas vivas. No caso de tubos abocardados, estes devem ser empilhados de forma a não sujeitar as embocaduras a cargas excessivas. Aconselha-se a colocação dos tubos de maior rigidez na zona inferior da carga e os tubos de menos rigidez no topo. Se houver necessidade de que parte dos tubos fiquem suspensos fora do veículo, o comprimento pendurado não deve ser superior a 1m e os tubos não devem em caso algum ser arrastados (fig. 81). Os tubos devem ser inspecionados antes de se proceder à sua descarga em obra [62].



**Fig. 79 – Transporte de tubos de forma errada [62]**



**Fig. 80 – Transporte de tubos de forma correta [62]**



**Fig. 81 – Arrastamento de tubo [62]**



## **5. Análise económica**

O estudo económico foi feito para um edifício de nove andares, composto por dois pisos enterrados, piso térreo e seis pisos elevados. No total serão cinco apartamentos de tipologia T3 e um apartamento de tipologia T2. O objetivo desta análise é comparar os preços de fornecimento e montagem para os diferentes tipos de tubos poliméricos já descritos, para abastecimento de águas e esgotos.

O preço por metro linear de tubo não é suficiente para fazer uma comparação porque é necessário saber o preço dos acessórios e a mão-de-obra necessária para instalar cada tipo de tubo. Fez-se uma pesquisa do preço atual do metro linear de cada tubo e dos acessórios e considerou-se 10 €/h para o preço da mão-de-obra. O tempo estimado de mão-de-obra foi calculado com dados da empresa Hidroarea.

Fez-se o estudo para abastecimento de águas com as tubagens em PEAD, PVC-U, PVC-C, PE-X, PB e PP. O início é nos contadores e desenvolve-se pelas colunas montantes até abastecer cada fogo. Nas tubagens de PEAD e de PVC-U não se pode contabilizar o abastecimento de águas quentes, porque conforme já foi dito anteriormente, os tubos não são adequados. Nos esgotos residuais e pluviais foram estudadas as tubagens de PEAD, PVC-U e PP.

Os preços indicados incluem IVA à taxa legal em vigor. Normalmente os fornecedores de tubos e acessórios fazem um desconto sobre o preço de tabela na ordem dos 20 % a 30 %, antes da aplicação da taxa do IVA, aos seus clientes regulares.

### **5.1. Redes de abastecimento de águas**

#### **5.1.1. Tubos de PEAD**

Na execução deste orçamento foram utilizadas tabelas de preços da empresa FOPIL. A ligação entre acessórios é mecânica, visto ser a mais adequada para diâmetros pequenos. Na Tabela 26 indica-se o orçamento da rede de abastecimento de água em PEAD para os apartamentos do edifício referido.



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>1</b>	<b>REDE DE ÁGUAS FRIAS</b>				
<b>1.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem.</b>				<b>236,25 €</b>
1.1.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	0,57 €	74,12 €
1.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	0,60 €	16,27 €
1.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	0,95 €	145,85 €
<b>1.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>562,62 €</b>
1.2.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	1,32 €	172,92 €
1.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	1,60 €	43,20 €
1.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	2,25 €	346,50 €
<b>1.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>927,45 €</b>
1.3.1	Joelhos diâmetro 20mm.	un	75	2,38 €	178,50 €
1.3.2	Joelhos diâmetro 32mm.	un	23	3,32 €	76,36 €
1.3.3	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 25mm	un	24	4,75 €	114,00 €
1.3.4	Tês diâmetro 25mm * 25mm * 20mm	un	28	3,36 €	94,08 €
1.3.5	Tês diâmetro 20mm	un	23	2,71 €	62,33 €
1.3.6	Uniões diâmetro 20mm	un	13	1,82 €	23,84 €
1.3.7	Uniões diâmetro 25mm	un	3	2,15 €	5,81 €
1.3.8	Uniões diâmetro 32mm	un	15	3,04 €	46,82 €
1.3.9	Uniões diâmetro 25mm * 20mm	un	24	2,24 €	53,76 €
1.3.10	Fornecimento e montagem de válvulas de seccionamento na entrada de cada piso, incluindo todos os trabalhos inerentes.	un	6	45,33 €	271,95 €
<b>TOTAL</b>					<b>1.726,31 €</b>

Tabela 26 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PEAD

### 5.1.2. Tubos de PVC-U

As tabelas de preços utilizadas na realização deste orçamento foram as da empresa Sultubos. A ligação entre acessórios é a união por colagem, porque é a que se aplica usualmente. O orçamento da rede de abastecimento de água, para o edifício em análise, em PVC-U, está desenvolvido na Tabela 27.

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>1</b>	<b>REDE DE ÁGUAS FRIAS</b>				
<b>1.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem.</b>				<b>627,16 €</b>
1.1.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	1,05 €	136,96 €
1.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	1,60 €	43,17 €
1.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	2,90 €	447,03 €
<b>1.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>603,95 €</b>
1.2.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	1,75 €	229,25 €
1.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	1,90 €	51,30 €
1.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	2,10 €	323,40 €
<b>1.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>354,53 €</b>
1.3.1	Joelhos diâmetro 20mm.	un	92	0,23 €	21,50 €
1.3.2	Joelhos diâmetro 25mm.	un	1	0,30 €	0,30 €



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
1.3.3	Joelhos diâmetro 32mm.	un	39	0,47 €	18,23 €
1.3.4	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 25mm	un	6	0,59 €	3,54 €
1.3.5	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 20mm	un	18	0,59 €	10,63 €
1.3.6	Tês diâmetro 25mm * 25mm * 20mm	un	28	0,39 €	11,02 €
1.3.7	Tês diâmetro 20mm	un	23	0,28 €	6,51 €
1.3.8	Uniões diâmetro 20mm	un	13	0,27 €	3,54 €
1.3.9	Uniões diâmetro 25mm	un	3	0,31 €	0,83 €
1.3.10	Uniões diâmetro 32mm	un	15	0,34 €	5,30 €
1.3.11	Uniões diâmetro 25mm * 20mm	un	6	0,20 €	1,18 €
1.3.12	Fornecimento e montagem de válvulas de seccionamento na entrada de cada piso, incluindo todos os trabalhos inerentes.	un	6	45,33 €	271,95 €
<b>TOTAL</b>					<b>1.585,65 €</b>

Tabela 27 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PVC-U

### 5.1.3. Tubos de PVC-C

No orçamento para as redes em PVC-C as tabelas de preços utilizadas foram as da empresa Centralplast. A união entre acessórios é feita por colagem. A tabela 28 refere-se ao orçamento da rede de abastecimento de água fria aos apartamentos do edifício em estudo, em tubos de PVC-C. O orçamento da rede de abastecimento de águas quentes apresenta-se na Tabela 29.

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>1</b>	<b>REDE DE ÁGUAS FRIAS</b>				
<b>1.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem.</b>				<b>1.084,04 €</b>
1.1.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	2,23 €	292,72 €
1.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	3,21 €	86,68 €
1.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	4,58 €	704,64 €
<b>1.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>603,95 €</b>
1.2.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	1,75 €	229,25 €
1.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	1,90 €	51,30 €
1.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	2,10 €	323,40 €
<b>1.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>1.081,93 €</b>
1.3.1	Joelhos diâmetro 20mm.	un	92	2,08 €	191,24 €
1.3.2	Joelhos diâmetro 25mm.	un	1	2,94 €	2,94 €
1.3.3	Joelhos diâmetro 32mm.	un	39	3,91 €	152,54 €
1.3.4	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 25mm	un	6	7,28 €	43,69 €
1.3.5	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 20mm	un	18	7,28 €	131,07 €
1.3.6	Tês diâmetro 25mm * 25mm * 20mm	un	28	4,88 €	136,73 €
1.3.7	Tês diâmetro 20mm	un	23	3,09 €	71,01 €
1.3.8	Uniões diâmetro 20mm	un	13	1,40 €	18,37 €
1.3.9	Uniões diâmetro 25mm	un	3	1,97 €	5,31 €
1.3.10	Uniões diâmetro 32mm	un	15	2,94 €	45,27 €
1.3.11	Uniões diâmetro 25mm * 20mm	un	6	1,97 €	11,81 €



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
1.3.12	Fornecimento e montagem de válvulas de seccionamento na entrada de cada piso, incluindo todos os trabalhos inerentes.	un	6	45,33 €	271,95 €
<b>TOTAL</b>					<b>2.769,92 €</b>

Tabela 28 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PVC-C

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>2</b>	<b>REDE DE ÁGUAS QUENTES</b>				
<b>2.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem.</b>				<b>520,72 €</b>
2.1.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	84	2,23 €	187,70 €
2.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	51	3,21 €	163,73 €
2.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	37	4,58 €	169,30 €
<b>2.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>321,60 €</b>
2.2.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	84	1,75 €	147,00 €
2.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	51	1,90 €	96,90 €
2.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	37	2,10 €	77,70 €
<b>2.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>469,67 €</b>
2.3.1	Joelhos diâmetro 20mm.	un	57	2,08 €	118,49 €
2.3.2	Joelhos diâmetro 25mm.	un	12	2,94 €	35,28 €
2.3.3	Joelhos diâmetro 32mm.	un	17	3,91 €	66,49 €
2.3.4	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 20mm	un	6	7,28 €	43,69 €
2.3.5	Tês diâmetro 25mm * 25mm * 20mm	un	22	4,88 €	107,43 €
2.3.6	Tês diâmetro 20mm	un	12	3,09 €	37,05 €
2.3.7	Uniões diâmetro 20mm	un	8	1,40 €	11,78 €
2.3.8	Uniões diâmetro 25mm	un	5	1,97 €	10,04 €
2.3.9	Uniões diâmetro 32mm	un	4	2,94 €	10,88 €
2.3.10	Uniões diâmetro 32mm * 25mm	un	6	2,79 €	16,75 €
2.3.11	Uniões diâmetro 25mm * 20mm	un	6	1,97 €	11,81 €
<b>TOTAL</b>					<b>1.311,99 €</b>

Tabela 29 - Orçamento de rede de abastecimento de águas quentes em PVC-C

#### 5.1.4. Tubos de PE-X

O orçamento da rede realizada em tubos de PE-X, para os apartamentos do edifício indicado, foi feito com recurso a tabelas de preços da empresa Nicolau & Rosa. A ligação entre acessórios é mecânica. O orçamento da rede de abastecimento de águas frias em PE-X está desenvolvido na Tabela 30 e o de águas quentes na Tabela 31. As caixas para coletores estão contabilizadas na tubagem de água fria, pois foi considerado no orçamento que as redes de água fria e quente seriam concebidas com recurso ao mesmo material. Assim, quando se pretender analisar o caso da instalação da rede de água quente em particular deve-se acrescentar o valor referido ao valor total.



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>1</b>	<b>REDE DE ÁGUAS FRIAS</b>				
<b>1.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem e acessórios.</b>				<b>1.938,11 €</b>
1.1.1	Tubagem diâmetro 16mm.	m	417	0,71 €	296,07 €
1.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	81	2,03 €	164,43 €
1.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	171	4,83 €	825,93 €
1.1.4	Manga corrugada azul 25mm	m	417	0,22 €	91,74 €
1.1.5	Manga corrugada azul 40mm	m	81	0,47 €	38,07 €
1.1.6	Manga corrugada azul 50mm	m	79	0,98 €	77,42 €
1.1.7	Joelhos e caixa plástica diâmetro 16mm.	un	75	2,30 €	172,50 €
1.1.8	Fornecimento e montagem de válvulas de seccionamento na entrada de cada piso, incluindo todos os trabalhos inerentes.	un	6	45,33 €	271,95 €
<b>1.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>352,20 €</b>
1.2.1	Tubagem diâmetro 16mm.	m	417	0,40 €	166,80 €
1.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	81	0,60 €	48,60 €
1.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	171	0,80 €	136,80 €
<b>1.3</b>	<b>Fornecimento e montagem de acessórios.</b>				<b>562,55 €</b>
1.3.1	Coletores com 3 saídas incluindo válvulas, adaptadores, tampão e todos os acessórios necessários ao seu perfeito funcionamento.	un	5	18,61 €	93,05 €
1.3.2	Coletores com 4 saídas incluindo válvulas, adaptadores, tampão e todos os acessórios necessários ao seu perfeito funcionamento.	un	7	22,93 €	160,51 €
1.3.3	Coletores com 5 saídas incluindo válvulas, adaptadores, tampão e todos os acessórios necessários ao seu perfeito funcionamento.	un	11	28,09 €	308,99 €
<b>1.4</b>	<b>Caixas para coletores.</b>				<b>385,20 €</b>
1.4.1	Fornecimento e montagem de caixas para coletores.		20	19,26 €	385,20 €
<b>TOTAL</b>					<b>3.238,06 €</b>

Tabela 30 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PE-X

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>2</b>	<b>REDE DE ÁGUAS QUENTES</b>				
<b>2.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem e acessórios.</b>				<b>888,85 €</b>
2.1.1	Tubagem diâmetro 16mm.	m	252	0,71 €	178,92 €
2.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	72	2,03 €	146,16 €
2.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	67	4,83 €	323,61 €
2.1.4	Manga corrugada vermelha 25mm	m	252	0,22 €	55,44 €
2.1.5	Manga corrugada vermelha 40mm	m	72	0,47 €	33,84 €
2.1.6	Manga corrugada vermelha 50mm	m	46	0,98 €	45,08 €
2.1.7	Joelhos e caixa plástica diâmetro 16mm.	un	46	2,30 €	105,80 €
<b>2.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>96,80 €</b>
2.2.1	Tubagem diâmetro 16mm.	m	252	0,40 €	100,80 €
2.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	72	0,60 €	43,20 €
2.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	67	0,80 €	53,60 €
<b>2.3</b>	<b>Fornecimento e montagem de acessórios.</b>				<b>399,69 €</b>
2.3.1	Coletores com 2 saídas incluindo válvulas, adaptadores, tampão e todos os acessórios necessários ao seu perfeito funcionamento.	un	11	14,07 €	154,77 €



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
2.3.2	Coletores com 3 saídas incluindo válvulas, adaptadores, tampão e todos os acessórios necessários ao seu perfeito funcionamento.	un	7	18,61 €	130,27 €
2.3.3	Coletores com 4 saídas incluindo válvulas, adaptadores, tampão e todos os acessórios necessários ao seu perfeito funcionamento.	un	5	22,93 €	114,65 €
<b>TOTAL</b>					<b>1.385,34 €</b>

Tabela 31 - Orçamento de rede de abastecimento de águas quentes em PE-X

### 5.1.5. Tubos de PP

A realização deste orçamento teve como base tabelas de preços da empresa Nicolau & Rosa. A união entre acessórios é por soldadura com a utilização de máquina polifusora, por ser a comumente utilizada em redes prediais. As Tabela 32 e Tabela 33 indicam os orçamentos da rede de abastecimento de águas frias e quentes, respetivamente, em tubos de PP.

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>1</b>	<b>REDES DE ÁGUAS FRIAS</b>				
<b>1.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem.</b>				<b>997,58 €</b>
1.1.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	1,71 €	224,01 €
1.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	2,87 €	77,49 €
1.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	4,52 €	696,08 €
<b>1.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>1.534,48 €</b>
1.2.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	4,39 €	575,09 €
1.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	4,79 €	129,33 €
1.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	5,39 €	830,06 €
<b>1.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>500,84 €</b>
1.3.1	Joelhos diâmetro 20mm.	un	92	0,79 €	72,68 €
1.3.2	Joelhos diâmetro 25mm.	un	1	0,97 €	0,97 €
1.3.3	Joelhos diâmetro 32mm.	un	39	1,55 €	60,45 €
1.3.4	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 25mm	un	6	2,20 €	13,20 €
1.3.5	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 20mm	un	18	2,20 €	39,60 €
1.3.6	Tês diâmetro 25mm * 25mm * 20mm	un	28	1,28 €	35,84 €
1.3.7	Tês diâmetro 20mm	un	23	0,82 €	18,86 €
1.3.8	Uniões diâmetro 20mm	un	13	0,60 €	7,86 €
1.3.9	Uniões diâmetro 25mm	un	3	0,79 €	2,13 €
1.3.10	Uniões diâmetro 32mm	un	15	1,30 €	20,02 €
1.3.11	Uniões diâmetro 25mm * 20mm	un	6	0,64 €	3,84 €
1.3.12	Fornecimento e montagem de válvulas de seccionamento na entrada de cada piso, incluindo todos os trabalhos inerentes.	un	6	37,56 €	225,39 €
<b>TOTAL</b>					<b>3.032,90 €</b>

Tabela 32- Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PP



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>2</b>	<b>REDES DE ÁGUAS QUENTES</b>				
<b>2.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem.</b>				<b>457,25 €</b>
2.1.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	84	1,71 €	143,64 €
2.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	51	2,87 €	146,37 €
2.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	37	4,52 €	167,24 €
<b>2.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>812,48 €</b>
2.2.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	84	4,39 €	368,76 €
2.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	51	4,79 €	244,29 €
2.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	37	5,39 €	199,43 €
<b>2.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>144,18 €</b>
2.3.1	Joelhos diâmetro 20mm.	un	57	0,79 €	45,03 €
2.3.2	Joelhos diâmetro 25mm.	un	12	0,97 €	11,64 €
2.3.3	Joelhos diâmetro 32mm.	un	17	1,55 €	26,35 €
2.3.4	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 20mm	un	6	2,20 €	13,20 €
2.3.5	Tês diâmetro 25mm * 25mm * 20mm	un	22	1,28 €	28,16 €
2.3.6	Tês diâmetro 20mm	un	12	0,82 €	9,84 €
2.3.7	Uniões diâmetro 32mm * 25mm	un	6	1,02 €	6,12 €
2.3.8	Uniões diâmetro 25mm * 20mm	un	6	0,64 €	3,84 €
<b>TOTAL</b>					<b>1.413,91 €</b>

Tabela 33 - Orçamento de rede de abastecimento de águas quentes em PP

### 5.1.6. Tubos de PB

Na rede orçamentada com tubos de PB foram utilizadas tabelas de preços da empresa Sultubos. A ligação entre acessórios é mecânica. Os orçamentos das redes de abastecimento de águas quentes e frias realizadas neste material, para o edifício multifamiliar em análise, estão indicados na Tabela 34 e Tabela 35.

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>1</b>	<b>REDES DE ÁGUAS FRIAS</b>				
<b>1.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem.</b>				<b>1.288,67 €</b>
1.1.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	2,62 €	343,21 €
1.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	4,22 €	113,91 €
1.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	5,40 €	831,55 €
<b>1.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>86,51 €</b>
1.2.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	131	0,25 €	32,75 €
1.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	27	0,28 €	7,56 €
1.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	154	0,30 €	46,20 €
<b>1.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>1.350,68 €</b>
1.3.1	Joelhos diâmetro 20mm.	un	75	2,82 €	211,25 €
1.3.3	Joelhos diâmetro 32mm.	un	23	8,03 €	184,73 €
1.3.4	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 25mm	un	24	10,43 €	250,33 €
1.3.6	Tês diâmetro 25mm * 25mm * 20mm	un	28	4,87 €	136,38 €
1.3.7	Tês diâmetro 20mm	un	23	4,07 €	93,64 €
1.3.8	Uniões diâmetro 20mm	un	13	2,26 €	29,65 €



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
1.3.9	Uniões diâmetro 25mm	un	3	2,57 €	6,94 €
1.3.10	Uniões diâmetro 32mm	un	15	7,39 €	113,84 €
1.3.11	Uniões diâmetro 25mm * 20mm	un	24	2,16 €	51,96 €
1.3.12	Fornecimento e montagem de válvulas de	un	6	45,33 €	271,95 €
<b>TOTAL</b>					<b>2.725,86 €</b>

Tabela 34 - Orçamento de rede de abastecimento de águas frias em PB

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>2.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem.</b>				<b>635,02 €</b>
2.1.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	84	2,62 €	220,07 €
2.1.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	51	4,22 €	215,16 €
2.1.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	37	5,40 €	199,79 €
<b>2.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios.</b>				<b>46,38 €</b>
2.2.1	Tubagem diâmetro 20mm.	m	84	0,25 €	21,00 €
2.2.2	Tubagem diâmetro 25mm.	m	51	0,28 €	14,28 €
2.2.3	Tubagem diâmetro 32mm.	m	37	0,30 €	11,10 €
<b>2.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>573,10 €</b>
2.3.1	Joelhos diâmetro 20mm.	un	40	2,82 €	112,67 €
2.3.2	Joelhos diâmetro 25mm.	un	11	3,26 €	35,85 €
2.3.3	Joelhos diâmetro 32mm.	un	11	8,03 €	88,35 €
2.3.4	Tês diâmetro 32mm * 32mm * 25mm		6	10,43 €	62,58 €
2.3.5	Tês diâmetro 25mm * 25mm * 20mm	un	22	4,87 €	107,16 €
2.3.6	Tês diâmetro 20mm	un	12	4,07 €	48,86 €
2.3.7	Uniões diâmetro 20mm	un	8	2,26 €	19,01 €
2.3.8	Uniões diâmetro 25mm	un	5	2,57 €	13,11 €
2.3.9	Uniões diâmetro 32mm	un	4	7,39 €	27,35 €
2.3.10	Uniões diâmetro 32mm * 25mm	un	6	5,36 €	32,18 €
2.3.11	Uniões diâmetro 25mm * 20mm	un	12	2,16 €	25,98 €
<b>TOTAL</b>					<b>1.254,50 €</b>

Tabela 35 - Orçamento de rede de abastecimento de águas quentes em PB

### 5.1.7. Conclusões

A primeira conclusão que se retira é que o PEAD e o PVC-U são materiais mais económicos, mas que não satisfazem as necessidades de uma rede de abastecimento predial porque é necessário um material que suporte temperaturas mais elevadas para o abastecimento de água quente. Em casos em que se trate exclusivamente de abastecimento de água fria, estas tubagens não devem ser esquecidas, devido ao seu preço vantajoso. O PEAD tem o preço por metro linear dos mais baixos existentes no mercado, um preço médio de montagem e de acessórios. O PVC-U tem um preço por metro linear relativamente baixo, um preço de montagem médio e o preço de acessórios mais baixo do mercado.



O PVC-C e o PB são os que apresentam os preços mais baixos, dos materiais restantes. O PVC-C é uma tubagem difícil de encontrar no mercado nacional, existindo falta de fornecedores. Isso não faz com que o seu preço seja alto por falta de concorrência, mas pode causar inconvenientes se não houver material disponível, implicando atrasos. O preço do metro linear de PVC-C, dos acessórios e da montagem é médio. O PB não é uma novidade no mercado, mas reapareceu fortemente nos últimos cinco anos, a inovação que trouxe foi a sua forma de união mais rápida. Este tipo de tubagem ainda tem poucas provas dadas, a nível de instalações realizadas, mas apresenta muitas vantagens. O preço do PB por metro linear e dos seus acessórios é elevado, mas a união entre acessórios é tão rápida que permite uma poupança muito grande em mão-de-obra.

Os orçamentos para a tubagem de água quente e fria executada no mesmo material mais elevados foram respetivamente para a tubagem de PP e PE-X. São os tubos poliméricos mais aplicados nacionalmente para abastecimento de águas. O PP tem muito boas características. O preço do tubo de PP por metro linear é relativamente elevado, os acessórios são económicos e o preço de montagem é elevado. O PE-X evidencia também muito boas características. A instalação é diferente da dos outros tubos, o que implica uma maior quantidade de tubo para fazer as ligações entre os coletores e os aparelhos sanitários. São utilizados menos acessórios, porque em vez disso são utilizados os coletores. O preço do tubo de PE-X por metro linear é reduzido, o preço dos acessórios é médio e o preço de montagem é baixo.

## 5.2. Redes de esgotos residuais e pluviais

### 5.2.1. Tubos de PEAD

As tabelas de preços utilizadas neste orçamento foram as da empresa Geberit. A ligação escolhida entre acessórios é a eletrossoldadura. Na tabela 32 indica-se o orçamento da rede de esgotos residuais e pluviais em PEAD para o edifício referido.

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
2	REDES DE ESGOTOS DOMÉSTICOS E PLUVIAIS				
2.1	Fornecimento de tubagem para execução de ramais ligação dos aparelhos às colunas da rede de esgotos domésticos.				367,36 €
2.1.1	Tubagem diâmetro 40mm.	m	67	1,85 €	123,62 €



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
2.1.2	Tubagem diâmetro 50mm.	m	18	2,10 €	36,81 €
2.1.3	Tubagem diâmetro 75mm.	m	31	3,22 €	100,22 €
2.1.4	Tubagem diâmetro 90mm.	m	24	4,43 €	106,71 €
<b>2.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios para execução de ramais ligação dos aparelhos às colunas da rede de esgotos domésticos.</b>				<b>62,02 €</b>
2.2.1	Tubagem diâmetro 40mm.	m	67	0,35 €	23,45 €
2.2.2	Tubagem diâmetro 50mm.	m	18	0,40 €	7,00 €
2.2.3	Tubagem diâmetro 75mm.	m	31	0,55 €	17,11 €
2.2.4	Tubagem diâmetro 90mm.	m	24	0,60 €	14,46 €
<b>2.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>764,03 €</b>
2.3.1	Sifões de pavimento com fecho hidráulico 75mm e tampa metálica.	un	23	16,85 €	387,57 €
2.3.2	Curvas diâmetro 40mm.	un	92	1,35 €	124,48 €
2.3.3	Curvas diâmetro 50mm.	un	32	1,35 €	43,30 €
2.3.4	Curva de sanita	un	17	12,28 €	208,68 €
<b>2.4</b>	<b>Fornecimento de colunas de esgoto doméstico.</b>				<b>1.096,85 €</b>
2.4.1	Diâmetro 110mm do tipo D1 com uma derivação no piso 6.	m	28	6,83 €	191,14 €
2.4.2	Diâmetro 110mm do tipo D4 com uma derivação por piso.	m	21	6,83 €	143,36 €
2.4.3	Diâmetro 160mm do tipo D3 com duas derivações por piso.	m	26	13,65 €	354,98 €
2.4.4	Diâmetro 160mm do tipo D2 com quatro derivações por piso.	m	24	13,65 €	327,67 €
2.4.5	Ramal de ligação das colunas à caixa de visita C3, diâmetro 200mm.	m	4	19,93 €	79,70 €
<b>2.5</b>	<b>Montagem de colunas de esgoto doméstico.</b>				<b>89,88 €</b>
2.5.1	Diâmetro 110mm do tipo D1 com uma derivação no piso 6.	m	28	0,72 €	20,16 €
2.5.2	Diâmetro 110mm do tipo D4 com uma derivação por piso.	m	21	0,72 €	15,12 €
2.5.3	Diâmetro 160mm do tipo D3 com duas derivações por piso.	m	26	1,00 €	26,00 €
2.5.4	Diâmetro 160mm do tipo D2 com quatro derivações por piso.	m	24	1,00 €	24,00 €
2.5.5	Ramal de ligação das colunas à caixa de visita C3, diâmetro 200mm.	m	4	1,15 €	4,60 €
<b>2.6</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>943,41 €</b>
2.6.1	Forquilha diâmetro 110mm * 75mm	un	6	6,77 €	40,59 €
2.6.2	Forquilha diâmetro 160mm * 75mm	un	12	31,98 €	383,76 €
2.6.3	Forquilha diâmetro 160mm * 90mm	un	12	31,98 €	383,76 €
2.6.6	Bocas de limpeza em colunas de esgoto doméstico.	un	4	33,83 €	135,30 €
<b>2.7</b>	<b>Fornecimento de tubagem para colunas de ventilação de esgoto doméstico.</b>				<b>176,01 €</b>
2.7.1	D1 e D4, diâmetro 90mm.	m	12	4,43 €	53,14 €
2.7.2	D3, diâmetro 110mm.	m	6	6,83 €	40,96 €
2.7.3	D3, diâmetro 160mm.	m	6	13,65 €	81,92 €
<b>2.8</b>	<b>Montagem de tubagem para colunas de ventilação de esgoto doméstico.</b>				<b>17,52 €</b>
2.8.1	D1 e D4, diâmetro 90mm.	m	12	0,60 €	7,20 €
2.8.2	D3, diâmetro 110mm.	m	6	0,72 €	4,32 €
2.8.3	D3, diâmetro 160mm.	m	6	1,00 €	6,00 €



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>2.9</b>	<b>Fornecimento de tubagem para execução de ramais de ligação entre caixas de visita, ralos e tubos de queda da rede pluvial.</b>				<b>1.044,58 €</b>
2.9.1	Tubagem diâmetro 90mm.	m	1	4,43 €	4,43 €
2.9.2	Tubagem diâmetro 110mm.	m	48	6,83 €	329,04 €
2.9.3	Tubagem diâmetro 125mm.	m	17	8,86 €	146,57 €
2.9.4	Tubagem diâmetro 160mm.	m	41	13,65 €	564,55 €
<b>2.10</b>	<b>Montagem de tubagem para execução de ramais de ligação entre caixas de visita, ralos e tubos de queda da rede pluvial.</b>				<b>89,89 €</b>
2.10.1	Tubagem diâmetro 90mm.	m	1	0,60 €	0,60 €
2.10.2	Tubagem diâmetro 110mm.	m	48	0,72 €	34,70 €
2.10.3	Tubagem diâmetro 125mm.	m	17	0,80 €	13,24 €
2.10.4	Tubagem diâmetro 160mm.	m	41	1,00 €	41,35 €
<b>2.11</b>	<b>Fornecimento de tubos de queda e acessórios para águas pluviais.</b>				<b>708,26 €</b>
2.11.1	Tubagem diâmetro 110mm.	m	92	6,83 €	624,62 €
2.11.2	Bocas de limpeza em tubos de queda pluviais.	un	4,00	20,91 €	83,64 €
<b>2.12</b>	<b>Montagem de tubos de queda de águas pluviais.</b>				<b>65,88 €</b>
2.12.1	Tubagem diâmetro 110mm.	m	92	0,72 €	65,88 €
<b>TOTAL</b>					<b>5.425,70 €</b>

Tabela 36 - Orçamento de esgotos residuais e pluviais em PEAD

### 5.2.2. Tubos de PVC-U

Na execução deste orçamento utilizaram-se as tabelas de preços da empresa Fopil. As uniões entre acessórios são feitas por anel elastómero. O orçamento da rede de esgotos residuais e pluviais em PVC-U para o edifício multifamiliar indicado está desenvolvido na tabela 33.

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>2</b>	<b>REDES DE ESGOTOS DOMÉSTICOS E PLUVIAIS</b>				
<b>2.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem para execução de ramais ligação dos aparelhos às colunas da rede de esgotos domésticos.</b>				<b>399,17 €</b>
2.1.1	Tubagem diâmetro 40mm.	m	67	1,93 €	129,38 €
2.1.2	Tubagem diâmetro 50mm.	m	18	2,46 €	43,05 €
2.1.3	Tubagem diâmetro 75mm.	m	31	3,76 €	117,05 €
2.1.4	Tubagem diâmetro 90mm.	m	24	4,55 €	109,68 €
<b>2.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios para execução de ramais ligação dos aparelhos às colunas da rede de esgotos domésticos.</b>				<b>394,58 €</b>
2.2.1	Tubagem diâmetro 40mm.	m	67	2,79 €	186,93 €
2.2.2	Tubagem diâmetro 50mm.	m	18	2,79 €	48,83 €
2.2.3	Tubagem diâmetro 75mm.	m	31	2,79 €	86,77 €
2.2.4	Tubagem diâmetro 90mm.	m	24	2,99 €	72,06 €
<b>2.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>662,11 €</b>



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
2.3.1	Sifões de pavimento com fecho hidráulico 75mm e tampa metálica.	un	23	21,55 €	495,64 €
2.3.2	Curvas diâmetro 40mm.	un	92	0,68 €	62,24 €
2.3.3	Curvas diâmetro 50mm.	un	32	1,21 €	38,57 €
2.3.4	Curva de sanita	un	17	3,86 €	65,66 €
<b>2.4</b>	<b>Fornecimento de colunas de esgoto doméstico.</b>				<b>893,23 €</b>
2.4.1	Diâmetro 110mm do tipo D1 com uma derivação no piso 6.	m	28	5,93 €	166,00 €
2.4.2	Diâmetro 110mm do tipo D4 com uma derivação por piso.	m	21	5,93 €	124,50 €
2.4.3	Diâmetro 160mm do tipo D3 com duas derivações por piso.	m	26	10,76 €	279,83 €
2.4.4	Diâmetro 160mm do tipo D2 com quatro derivações por piso.	m	24	10,76 €	258,30 €
2.4.5	Ramal de ligação das colunas à caixa de visita C3, diâmetro 200mm.	m	4	16,15 €	64,60 €
<b>2.5</b>	<b>Montagem de colunas de esgoto doméstico.</b>				<b>338,47 €</b>
2.5.1	Diâmetro 110mm do tipo D1 com uma derivação no piso 6.	m	28	2,99 €	83,72 €
2.5.2	Diâmetro 110mm do tipo D4 com uma derivação por piso.	m	21	2,99 €	62,79 €
2.5.3	Diâmetro 160mm do tipo D3 com duas derivações por piso.	m	26	3,54 €	92,04 €
2.5.4	Diâmetro 160mm do tipo D2 com quatro derivações por piso.	m	24	3,54 €	84,96 €
2.5.5	Ramal de ligação das colunas à caixa de visita C3, diâmetro 200mm.	m	4	3,74 €	14,96 €
<b>2.6</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>764,16 €</b>
2.6.1	Forquilha diâmetro 110mm * 75mm	un	6	9,53 €	57,20 €
2.6.2	Forquilha diâmetro 160mm * 125mm	un	24	22,12 €	530,88 €
2.6.3	Redução diâmetro 125mm * 75mm	un	12	2,96 €	35,52 €
2.6.4	Redução diâmetro 125mm * 90mm	un	12	2,40 €	28,78 €
2.6.5	Bocas de limpeza em colunas de esgoto doméstico.	un	4	27,95 €	111,78 €
<b>2.7</b>	<b>Fornecimento de tubagem para colunas de ventilação de esgoto doméstico.</b>				<b>154,76 €</b>
2.7.1	D1 e D4, diâmetro 90mm.	m	12	4,55 €	54,61 €
2.7.2	D3, diâmetro 110mm.	m	6	5,93 €	35,57 €
2.7.3	D3, diâmetro 160mm.	m	6	10,76 €	64,58 €
<b>2.8</b>	<b>Montagem de tubagem para colunas de ventilação de esgoto doméstico.</b>				<b>75,06 €</b>
2.8.1	D1 e D4, diâmetro 90mm.	m	12	2,99 €	35,88 €
2.8.2	D3, diâmetro 110mm.	m	6	2,99 €	17,94 €
2.8.3	D3, diâmetro 160mm.	m	6	3,54 €	21,24 €
<b>2.9</b>	<b>Fornecimento de tubagem para execução de ramais de ligação entre caixas de visita, ralos e tubos de queda da rede pluvial.</b>				<b>846,89 €</b>
2.9.1	Tubagem diâmetro 90mm.	m	1	4,55 €	4,55 €
2.9.1	Tubagem diâmetro 110mm.	m	48	5,93 €	285,76 €
2.9.1	Tubagem diâmetro 125mm.	m	17	6,74 €	111,55 €
2.9.1	Tubagem diâmetro 160mm.	m	41	10,76 €	445,03 €
<b>2.10</b>	<b>Montagem de tubagem para execução de ramais de ligação entre caixas de visita, ralos e tubos de queda da rede pluvial.</b>				<b>342,97 €</b>
2.10.1	Tubagem diâmetro 90mm.	m	1	2,99 €	2,99 €
2.10.2	Tubagem diâmetro 110mm.	m	48	2,99 €	144,12 €



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
2.10.3	Tubagem diâmetro 125mm.	m	17	2,99 €	49,48 €
2.10.4	Tubagem diâmetro 160mm.	m	41	3,54 €	146,38 €
<b>2.11</b>	<b>Fornecimento de tubos de queda e acessórios para águas pluviais.</b>				<b>571,20 €</b>
2.11.1	Tubagem diâmetro 110mm.	m	92	5,93 €	542,47 €
2.11.2	Bocas de limpeza em tubos de queda pluviais.	un	4,00	7,18 €	28,73 €
<b>2.12</b>	<b>Montagem de tubos de queda de águas pluviais.</b>				<b>273,59 €</b>
2.12.1	Tubagem diâmetro 110mm.	m	92	2,99 €	273,59 €
<b>TOTAL</b>					<b>5.716,18 €</b>

Tabela 37 - Orçamento de esgotos residuais e pluviais em PVC-U

### 5.2.3. Tubos de PP

O orçamento da rede foi feito com recurso a tabelas da empresa Fersil. A ligação entre acessórios é a por anel elastómero. Indica-se na tabela 34 o orçamento da rede de esgotos residuais e pluviais em PP para os apartamentos do edifício referido.

ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
<b>2</b>	<b>REDES DE ESGOTOS DOMÉSTICOS E PLUVIAIS</b>				
<b>2.1</b>	<b>Fornecimento de tubagem para execução de ramais ligação dos aparelhos às colunas da rede de esgotos domésticos.</b>				<b>299,28 €</b>
2.1.1	Tubagem diâmetro 40mm.	m	67	1,41 €	94,77 €
2.1.2	Tubagem diâmetro 50mm.	m	18	1,76 €	30,78 €
2.1.3	Tubagem diâmetro 75mm.	m	31	2,37 €	73,83 €
2.1.4	Tubagem diâmetro 90mm.	m	24	4,15 €	99,90 €
<b>2.2</b>	<b>Montagem de tubagem e acessórios para execução de ramais ligação dos aparelhos às colunas da rede de esgotos domésticos.</b>				<b>394,58 €</b>
2.2.1	Tubagem diâmetro 40mm.	m	67	2,79 €	186,93 €
2.2.2	Tubagem diâmetro 50mm.	m	18	2,79 €	48,83 €
2.2.3	Tubagem diâmetro 75mm.	m	31	2,79 €	86,77 €
2.2.4	Tubagem diâmetro 90mm.	m	24	2,99 €	72,06 €
<b>2.3</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>511,25 €</b>
2.3.1	Sifões de pavimento com fecho hidráulico 75mm e tampa metálica.	un	23	16,85 €	387,57 €
2.3.2	Curvas diâmetro 40mm.	un	92	0,63 €	57,71 €
2.3.3	Curvas diâmetro 50mm.	un	32	0,79 €	25,19 €
2.3.4	Curva de sanita	un	17	2,40 €	40,77 €
<b>2.4</b>	<b>Fornecimento de colunas de esgoto doméstico.</b>				<b>768,15 €</b>
2.4.1	Diâmetro 110mm do tipo D1 com uma derivação no piso 6.	m	28	4,74 €	132,59 €
2.4.2	Diâmetro 110mm do tipo D4 com uma derivação por piso.	m	21	4,74 €	99,45 €
2.4.3	Diâmetro 160mm do tipo D3 com duas derivações por piso.	m	26	10,05 €	261,28 €
2.4.4	Diâmetro 160mm do tipo D2 com quatro derivações por piso.	m	24	10,05 €	241,18 €



ARTIGO Nº	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UN.	QT.	PREÇO UNIT.	VALOR PARCIAL
2.4.5	Ramal de ligação das colunas à caixa de visita C3, diâmetro 200mm.	m	4	8,41 €	33,65 €
<b>2.5</b>	<b>Montagem de colunas de esgoto doméstico.</b>				<b>338,47 €</b>
2.5.1	Diâmetro 110mm do tipo D1 com uma derivação no piso 6.	m	28	2,99 €	83,72 €
2.5.2	Diâmetro 110mm do tipo D4 com uma derivação por piso.	m	21	2,99 €	62,79 €
2.5.3	Diâmetro 160mm do tipo D3 com duas derivações por piso.	m	26	3,54 €	92,04 €
2.5.4	Diâmetro 160mm do tipo D2 com quatro derivações por piso.	m	24	3,54 €	84,96 €
2.5.5	Ramal de ligação das colunas à caixa de visita C3, diâmetro 200mm.	m	4	3,74 €	14,96 €
<b>2.6</b>	<b>Fornecimento de acessórios.</b>				<b>558,12 €</b>
2.6.1	Forquilha diâmetro 110mm * 75mm	un	6	3,47 €	20,81 €
2.6.2	Forquilha diâmetro 160mm * 75mm	un	12	17,87 €	214,46 €
2.6.3	Forquilha diâmetro 160mm * 90mm	un	12	17,87 €	214,46 €
2.6.4	Redução diâmetro 110mm * 75mm	un	12	1,93 €	23,17 €
2.6.5	Redução diâmetro 110mm * 90mm	un	12	1,97 €	23,62 €
2.6.6	Bocas de limpeza em colunas de esgoto doméstico.	un	4	15,40 €	61,60 €
<b>2.7</b>	<b>Fornecimento de tubagem para colunas de ventilação de esgoto doméstico.</b>				<b>138,45 €</b>
2.7.1	D1 e D4, diâmetro 90mm.	m	12	4,15 €	49,74 €
2.7.2	D3, diâmetro 110mm.	m	6	4,74 €	28,41 €
2.7.3	D3, diâmetro 160mm.	m	6	10,05 €	60,29 €
<b>2.8</b>	<b>Montagem de tubagem para colunas de ventilação de esgoto doméstico.</b>				<b>75,06 €</b>
2.8.1	D1 e D4, diâmetro 90mm.	m	12	2,99 €	35,88 €
2.8.2	D3, diâmetro 110mm.	m	6	2,99 €	17,94 €
2.8.3	D3, diâmetro 160mm.	m	6	3,54 €	21,24 €
<b>2.9</b>	<b>Fornecimento de tubagem para execução de ramais de ligação entre caixas de visita, ralos e tubos de queda da rede pluvial.</b>				<b>750,73 €</b>
2.9.1	Tubagem diâmetro 90mm.	m	1	4,15 €	4,15 €
2.9.2	Tubagem diâmetro 110mm.	m	48	4,74 €	228,25 €
2.9.3	Tubagem diâmetro 125mm.	m	17	6,21 €	102,80 €
2.9.4	Tubagem diâmetro 160mm.	m	41	10,05 €	415,53 €
<b>2.10</b>	<b>Montagem de tubagem para execução de ramais de ligação entre caixas de visita, ralos e tubos de queda da rede pluvial.</b>				<b>342,97 €</b>
2.10.1	Tubagem diâmetro 90mm.	m	1	2,99 €	2,99 €
2.10.2	Tubagem diâmetro 110mm.	m	48	2,99 €	144,12 €
2.10.3	Tubagem diâmetro 125mm.	m	17	2,99 €	49,48 €
2.10.4	Tubagem diâmetro 160mm.	m	41	3,54 €	146,38 €
<b>2.11</b>	<b>Fornecimento de tubos de queda e acessórios para águas pluviais.</b>				<b>456,52 €</b>
2.11.1	Tubagem diâmetro 110mm.	m	92	4,74 €	433,30 €
2.11.2	Bocas de limpeza em tubos de queda pluviais.	un	4	5,81 €	23,22 €
<b>2.12</b>	<b>Montagem de tubos de queda de águas pluviais.</b>				<b>273,59 €</b>
2.12.1	Tubagem diâmetro 110mm.	m	92	2,99 €	273,59 €
<b>TOTAL</b>					<b>4.907,16 €</b>

Tabela 38 - Orçamento de esgotos residuais e pluviais em PP



#### **5.2.4. Conclusões**

No início da análise económica dos tubos para esgotos residuais e pluviais era esperado que a tubagem de PVC-U obtivesse o orçamento mais baixo. Ainda antes dos resultados obtidos alguns técnicos afirmavam que o PVC-U já não era a melhor escolha. O preço mais baixo foi o dos tubos de PP, seguido dos tubos de PEAD e o mais elevado foi o dos tubos de PVC-U.

O preço por metro linear dos tubos é semelhante, mas o mais baixo é o dos tubos de PP. Na montagem o tubo de PEAD tem um preço mais reduzido que os outros, mas é o que tem os acessórios com preço mais alto.

Tendo em conta as características dos materiais estudadas nos capítulos anteriores, tanto o PEAD como o PP serão uma melhor escolha que o PVC-U, porque são tubos com maior qualidade.



## 6. Conclusões finais

Os tubos de materiais poliméricos têm-se desenvolvido muito nos últimos anos, apresentando características cada vez melhores. Esta evolução vai continuar, sendo por isso necessário um acompanhamento constante, quer para se usufruir ao máximo das suas propriedades, quer para não se cometer erros na sua seleção e instalação.

O fabrico dos tubos plásticos é feito com a técnica de moldagem por extrusão enquanto que para o fabrico dos acessórios se recorre à moldagem por injeção.

As vantagens destas tubagens são essencialmente a facilidade de instalação, o preço relativamente reduzido, uma baixa rugosidade, a leveza e, hoje em dia, uma melhor resistência. As desvantagens principais são o envelhecimento e desgaste quando aplicados no exterior, o coeficiente de dilatação linear elevado e a restrição na exposição a temperaturas elevadas. A falta de conhecimento acerca deste tipo de tubagens por parte de projetistas e instaladores é uma das suas maiores desvantagens. Ocorrem frequentemente práticas incorretas ou que já são obsoletas.

Os tubos mais utilizados no abastecimento de águas são o polipropileno (PP), o polietileno reticulado (PE-X), o polietileno (PE), o polibutileno (PB) e o policloreto de vinilo (PVC). O PE não pode ser utilizado para o abastecimento de águas quentes. Nas redes prediais de esgotos os materiais mais utilizados são o PVC, o PE e o PP.

As normas em vigor obrigam a que os tubos sejam marcados, de forma a que se identifiquem as principais características de cada tubo, simplesmente pela leitura dessa marcação.

Nas instalações de redes prediais de águas e esgotos utilizam-se diferentes tipos de ligações para unir acessórios e tubo, dependendo do material que se está a utilizar. Os tipos de uniões mais vulgares são a soldadura, a ligação mecânica, a ligação com anel elastómero e a colagem. Nos tubos de PE utilizam-se os sistemas de soldadura topo a topo, soldadura por eletrofusão e a ligação mecânica. Nos tubos de PE-X as uniões são feitas por ligação mecânica. Os tubos de PP são unidos com recurso à soldadura topo a topo, soldadura por fusão ou com anel elastómero. No caso dos tubos de PB é utilizado o sistema de ligação mecânica. Para unir os tubos de PVC utilizam-se anéis elastómeros ou colagem.

A melhor forma de obter uma rede predial fiável, durável e económica é executar um projeto de qualidade e concretizá-lo em obra. Os materiais selecionados devem estar de acordo com os documentos normativos aplicáveis. A receção dos tubos em



obra deve ser feita com atenção. O transporte, armazenamento e manuseamento dos tubos sem negligência é importante para a conservação destes em ótimo estado. Os materiais a aplicar não podem apresentar defeitos e os trabalhos devem ser executados de acordo com as normas em vigor e as regras da boa prática.

Ao analisar economicamente as redes de abastecimento de águas compararam-se o polietileno de alta densidade (PEAD) e o policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U) exclusivamente para águas frias, pois não podem ser aplicados em redes de águas quentes. Comparou-se policloreto de vinilo clorado (PVC-C), o PB, o PP e o PE-X para abastecimento de águas frias e quentes. No abastecimento de águas frias os orçamentos foram para o PEAD no valor de 1726,31€ e para o PVC-U no valor de 1585,65 €. Os valores dos orçamentos dos tubos de PVC-C foram 4081,92 €, de PB foram 3980,36 €, de PP foram 4446,81€ e de PE-X foram 4623,40 €. O estudo económico dos tubos para esgotos residuais e pluviais teve como resultados o valor de orçamento para o PP de 4907,16 €, para o PEAD de 5425,70€, para o PVC-U 5716,18€, resultado que não era totalmente esperado.

O estudo realizado para este trabalho levou à descoberta de novas informações sobre materiais muito conhecidos e menos conhecidos. O PE-X é um material muito conhecido e aplicado a nível nacional. Quando se analisa esta situação superficialmente fica-se com a ideia de que o material deve ter uma boa qualidade e preço e por isso a sua vasta utilização. A realidade é que este material promete ser substituível, mas na maioria dos casos a sua substituição não foi conseguida, devido à perda de flexibilidade dos tubos com o passar do tempo. Os instaladores são atraídos para este material, por vários comerciais, com um preço baixo por metro linear e de mão-de-obra, mas a quantidade de tubo por instalação é muito grande.

No que diz respeito a materiais menos conhecidos, pesquisou-se o PB, que parece ter muito para oferecer. É um material de qualidade, de baixo preço, não necessita de mão-de-obra muito especializada e é de rápida instalação.

A execução deste trabalho demonstra que é importante que um técnico esteja sempre atualizado na sua área de trabalho, sendo pró-ativo, frequentando formações, estando atento a todas as novidades do setor, sejam alterações no panorama normativo ou inovações nos produtos disponíveis. A sua atenção não pode estar voltada apenas para os catálogos fornecidos pelos comerciais, mas também para a leitura de livros de especialistas na área, para a experiência de outros técnicos e para tudo o resto que se passa à sua volta.



## 7. Trabalhos futuros

No presente trabalho fez-se uma pequena análise económica de uma instalação de águas e esgotos num edifício multifamiliar. Num trabalho futuro seria interessante fazer uma análise económica mais exaustiva a uma instalação de maiores dimensões, como seria o caso de uma escola.

Outro trabalho interessante para o futuro seria fazer um estudo semelhante a este, mas para tubos de materiais compósitos. São tubos que se utilizam muito a nível nacional, mas existe pouca informação sobre eles.



## Bibliografia

- [1] AFONSO, A. Silva - Instalações prediais de águas e esgotos em Portugal. **Tecnologia e Vida. Revista da Secção Regional do Norte da ANET.** (Ed. 5)
- [2] 3º ENCORE: ENCONTRO SOBRE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, Lisboa, 2003 - **3º Encore: Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios.** 1ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2003. 703-1402p. ISBN 972-49-1960-9. vol. 2.
- [3] CALLAPEZ, Maria Elvira – **Os Plásticos em Portugal: A Origem da Indústria Transformadora.** 1ª ed. Lisboa: Editorial Estampa, 2000. 140p. ISBN 972-33-1611-0
- [4] STRONG, A. Brent - **Plastics: materials and processing.** 2ª ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. 811p. ISBN 0-13-021626-7
- [5] HUMMEL, Rolf E. - **Understanding materials science: history, properties, applications.** New York: Springer, 1998. 407 p. ISBN 0-387-98303-1
- [6] EPSOM AND EWELL HISTORY EXPLORER. Christian Friedrich Schönbein. Disponível em <http://www.epsomandewellhistoryexplorer.org.uk/Schonbein.html>
- [7] INFOPEDIA. Disponível em <http://www.infopedia.pt>
- [8] PLASTICKER. Disponível em <http://plasticker.de>
- [9] VIRTUEEL GENTS BAKELIETMUSEUM. Leo Hendrik Baekeland. Disponível em <http://juliensart.be/bakeliet/baekeland.html>
- [10] MINERVA. Theatrum Chemicum. Disponível em <http://www.minerva.unito.it/Theatrum%20Chemicum>
- [11] CHEMICAL HERITAGE FOUNDATION. Synthetic Polymers. Disponível em <http://www.chemheritage.org/discover/chemistry-in-history/themes/ petrochemistry-and-synthetic-polymers/synthetic-polymers>
- [12] CAMPBELL, Ian M. - **Introduction to synthetic polymers.** 2ªed. Oxford: University Press, 2000. 221p. ISBN 0-19-856470-8



[13] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. Disponível em <http://www.ine.pt>

[14] PLASTICSEUROPE. Disponível em <http://www.plasticseurope.org/use-of-plastics>

[15] PLASTVAL. Disponível em <http://www.plastval.pt>

[16] JACOBS, James A. , KILDUFF, Thomas F. - **Engineering materials technology: structures, processing, properties & selection**. 3ª ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997. 766p. ISBN 0-13-398793-0

[17] REAL, Luís Eduardo Pimentel - **Física e Química dos Materiais: Uma Introdução à Ciência dos Materiais**. 1ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007 346p. ISBN 978-972-49-2106-8

[18] ESGALHADO, Helena, ROCHA, Adélia - **Materiais Plásticos para a Construção Civil: Características e Tipos de Aplicação**. 1ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2002 112p. ISBN 972-49-1914-5

[19] DAVIM, J. P. - **Tecnologia dos Materiais Plásticos**. 1ª ed. Lisboa: Universidade Aberta, 1998. 110p. ISBN 972-674-266-8

[20] PORTAL DA INDÚSTRIA DA BORRACHA. Disponível em <http://www.rubberpedia.com>

[21] DICIONÁRIO PRIBERAM DA LÍNGUA PORTUGUESA. Disponível em <http://www.priberam.pt/dlpo>

[22] PLASTIPEDIA. Disponível em <http://www.bpf.co.uk/Plastipedia>

[23] ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. Disponível em <http://www.britannica.com>

[24] CUSTOMEPART. Disponível em <http://www.custompartnet.com/wu/images>

[25] EFUNDA. Disponível em <http://www.efunda.com>

[26] PEDROSO, Vitor M. R. – **Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagem de águas**. 2ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2004 406p. ISBN 972-49-1849-1



[27] NP EN 12201-1:2004 **Sistemas de tubagens em plástico para abastecimento de água. Polietileno (PE). Parte 1: Aspectos gerais.**

[28] NP EN 12201-2:2004 **Sistemas de tubagens em plástico para abastecimento de água. Polietileno (PE). Parte 2: Tubos.**

[29] NAYYAR, Mohinder L. – **Piping Handbook**. 7ª ed. New York: McGraw-Hill, 2000 2480p. ISBN 0-07-047106-1

[30] NP EN 13244-2:2004 **Sistemas de tubagens de plástico, com pressão, para transporte de água para utilizações gerais, enterrados ou não, de drenagem e esgoto. Polietileno (PE).**

[31] FGSBRASIL. Disponível em <http://www.fgsbrasil.com.br>

[32] RUSS, Thomas H. - **Site Planning and Design Handbook**. 1ª ed. New York: McGraw-Hill, 2002 443p. ISBN 978-0071605588

[33] WILLOUGHBY, David – **Plastic Piping Handbook**. 1ª ed. New York: McGraw-Hill, 2001 750p. ISBN 0-07-135956-7

[34] GARRETT, R.H. – **Hot and Cold Water Supply**. 2ª ed. Oxford: Blackwell Science, 2000 340p. ISBN 0-632-04985-5

[35] PINTO & CRUZ. Disponível em <http://www.pintocruz.pt>

[36] CEPEX. Disponível em <http://www.cepex.com>

[37] GEBERIT. Disponível em <http://www.geberit.pt>

[38] FERSIL. Disponível em <http://www.fersil.com>

[39] SIXSMITH, Thomas, HANSELKA – **Handbook of Thermoplastic Piping System Design**. 1ª ed. New York: Marcel Dekker, 1997 686p. ISBN 978-0824798468

[40] LAMPMAN, Steve [et. al.] – **Characterization and Failure Analysis of Plastics**. 1ª ed. Cleveland: ASM International, 2003 463p. ISBN: 0-87170-789-6

[41] FRANKEL, Michael - **Facility Piping Systems Handbook**. 3ª ed. New York: McGraw-Hill, 2010 1076p. ISBN 978-0-07-159721-0



[42] NP EN ISO 15875-1:2005 **Sistemas de tubagens de plástico para instalações de água quente e fria. Polietileno reticulado (PE-X). Parte 1: Generalidades.**

[43] NP EN ISO 15875-2:2005 **Sistemas de tubagens de plástico para instalações de água quente e fria. Polietileno reticulado (PE-X). Parte 2: Tubos.**

[44] CHURCH, Richard [et. al.] - **Design Guide. Residential PEX Water Supply Plumbing Systems.** 1ª ed. Upper Marlboro: NAHB Research Center, 2006 116p. ISBN: S/N

[45] UPONOR. **Aplicações sanitárias e de aquecimento. Manual técnico.**

[46] PLOMYPLAST. Disponível em <http://www.plomyplast.pt>

[47] NP EN ISO 15874-1:2005 (Ed. 1) **Sistemas de tubagens de plástico para instalações de água quente e fria. Polipropileno (PP). Parte 1: Generalidades (ISO 15874-1:2003).**

[48] NP EN ISO 15874-2:2005 (Ed. 1) **Sistemas de tubagens de plástico para instalações de água quente e fria. Polipropileno (PP). Parte 2: Tubos (ISO 15874-2:2003).**

[49] NP EN ISO 1452-2:2011 **Sistemas de tubagens de plástico para abastecimento de água, para drenagem e saneamento, enterrado ou aéreo, com pressão. Policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U). Parte 2: Tubos**

[50] ROSATO, Dominik V., ROSATO, Donald V., ROSATO, Mathew V. - **Plastic Product Material and Process Selection Handbook.** 1ª ed. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, 2004 618p. ISBN: 185617431X

[51] AQUATERM. **Catálogo Fusiotherm.**

[52] HELIFLEX. Disponível em <http://www.heliflex.pt>

[53] COPRAX. Disponível em <http://www.coprax.com>

[54] NUEVATERRAIN. Disponível em <http://www.nuevaterrain.com>



[55] EN ISO 15876-2:2003/A 1:2007 (Ed. 1) **Plastics piping systems for hot and cold water installations. Polybutylene (PB). Part 2: Pipes - Amendment 1 (ISO 15876-2:2003/Amd 1:2007).**

[56] NP EN ISO 1452-1:2010 **Sistemas de tubagens de plástico para abastecimento de água, para drenagem e saneamento, enterrado e aéreo, com pressão. Policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U). Parte 1: Generalidades**

[57] NP EN 1451-1:2000 **Sistemas de tubagens em plástico para esgoto (a temperatura baixa e elevada) no interior de edifícios, Polipropileno (PP). Parte 1: Requisitos para tubos, acessórios e sistema.**

[58] EN ISO 15877-1:2009/A 1:2010 (Ed. 1) **Plastics piping systems for hot and cold water installations. Chlorinated poly(vinyl chloride) (PVC-C). Part 1: General - Amendment 1 (ISO 15877-1:2009/AMD 1:2010).**

[59] NP EN 1566-1:2000 (Ed. 1) **Sistemas de tubagens em plástico para esgoto (a temperatura baixa e elevada) no interior de edifícios. Policloreto de vinilo clorado (PVC-C).**

[60] NP EN ISO 1452-2:2011 **Sistemas de tubagens de plástico para abastecimento de água, para drenagem e saneamento, enterrado ou aéreo, com pressão. Policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U). Parte 2: Tubos**

[61] NP ENV 12108:2006 (Ed. 1) **Sistemas de tubagens de plástico. Práticas e técnicas recomendadas para a instalação de sistemas de tubagens sob pressão para água quente e fria destinados a consumo humano, no interior da estrutura de edifícios.**

[62] NP ENV 1452-6:2006 (Ed. 1) **Sistemas de tubagens de plástico para abastecimento de água. Policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U). Parte 6: Guia para a instalação.**

[63] CRAWFORD, R. J. – **Plastics Engineering**. 3ª ed. Oxford: Butterworth Heinmann, 1998. 505p. ISBN 0-7506-3764-1

[64] SMITH, William F. – **Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3ª ed. Lisboa: McGraw-Hill, 1998. 892p. ISBN 972-8298-68-4



- [65] STEVENS, E. S. – **Green plastics: An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics**. 1ª ed. New Jersey: Princeton University Press, 2002. 238p. ISBN 0-691-04967-X
- [66] REIS, A. Correia dos - **Organização e Gestão de Obras**. 1ª ed. Lisboa: Edições Técnicas, 2006. 428p. ISBN 972-99731-0-5
- [67] BURSTALL, Tim - **Bulk Water Pipelines**. 1ª ed. London: Thomas Telford, 1997. 183p. ISBN 0-7277-2609-9
- [68] WISE, A. F. E. , SWAFFIELD, J. A. - **Water, Sanitary and Waste Services for Buildings**. 1ª ed. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1995. 216p. ISBN 0-582-23085-3
- [69] BAPTISTA, Jaime Melo - **Água e Esgotos em Loteamentos Urbanos**. 6ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2005. 452 p. ISBN 972-49-0014-2
- [70] DERUCHER, Kenneth N., KORFIATIS, George P. , EZELDIN, A. Samer - **Materials for Civil and Highway Engineers**. 4ª ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998. 470p. ISBN 0-13-905043-4
- [71] CHUDLEY, Roy - **Construction Technology**. 3ª ed. Harlow: Longman, 1999. 539p. ISBN 0-582-31616-2
- [72] VITTONÉ, René - **Bâtir: Manuel de la construction**. 1ª ed. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1996. 950p. ISBN 2-88074-251-X
- [73] 2º ENCORE: ENCONTRO SOBRE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, Lisboa, 1994 - **2º Encore: Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios**. 3ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2002. 609-968p. ISBN 972-49-1960-9. vol. II.
- [74] CALLISTER, William D. - **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 5ª ed. New York: John Wiley & Sons, 2000. 871p. ISBN 0-471-32013-7
- [75] SOPLASNOR. Disponível em <http://www.soplasnor.pt>
- [76] SIVAL. Disponível em <http://www.sival2.pt>
- [77] ABN PIPE SYSTEMS. Disponível em <http://www.abnpipesystems.com>
- [78] PIPELIFE. Disponível em <http://www.pipelife.com>



- [79] POLITEJO. Disponível em <http://www.politejo.com>
- [80] FOPIL. Disponível em <http://www.fopil.pt>
- [81] DUOFIL. Disponível em <http://www.duofil.com>
- [82] HELIROMA. [CD-ROM]. **Catálogo técnico 10.**
- [83] SILOWASH, Brian - **Piping Systems Manual**. 1ª ed. New York: McGraw-Hill, 2010 416p. ISBN 978-0-07-159277-2
- [84] ANTAKI, George A. - **Piping and Pipeline Engineering**. 1ª ed. New York: Marcel Dekker, 2003 546p. ISBN 0-8247-0964-0
- [85] LYONS, Arthur – **Materials for Architects and Builders**. 3ª ed. Oxford: Elsevier, 2007 368p. ISBN: 978-0-7506-6940-5
- [86] EN ISO 15876-1:2003/A 1:2007 (Ed. 1) **Plastics piping systems for hot and cold water installations. Polybutylene (PB). Part 1: General - Amendment 1 (ISO 15876-1:2003/Amd 1:2007).**
- [87] EN ISO 15877-2:2009 (Ed. 2) **Plastics piping systems for hot and cold water installations. Chlorinated poly(vinyl chloride) (PVC-C). Part 2: Pipes (ISO 15877-2:2009).**
- [88] KAY, Melvyn - **Practical Hydraulics**. 2ª ed. Oxon: Taylor & Francis, 2008. 253 p. ISBN 0-203-96077-7
- [89] SULTUBOS. Disponível em <http://www.sultubos.pt>
- [90] NICOLAU & ROSA. Disponível em <http://www.nicolaurosa.com>
- [91] CENTRALPLAST. Disponível em <http://www.centralplast.pt>












## Anexo 1

### Plantas da rede de abastecimento de água utilizadas para a análise económica

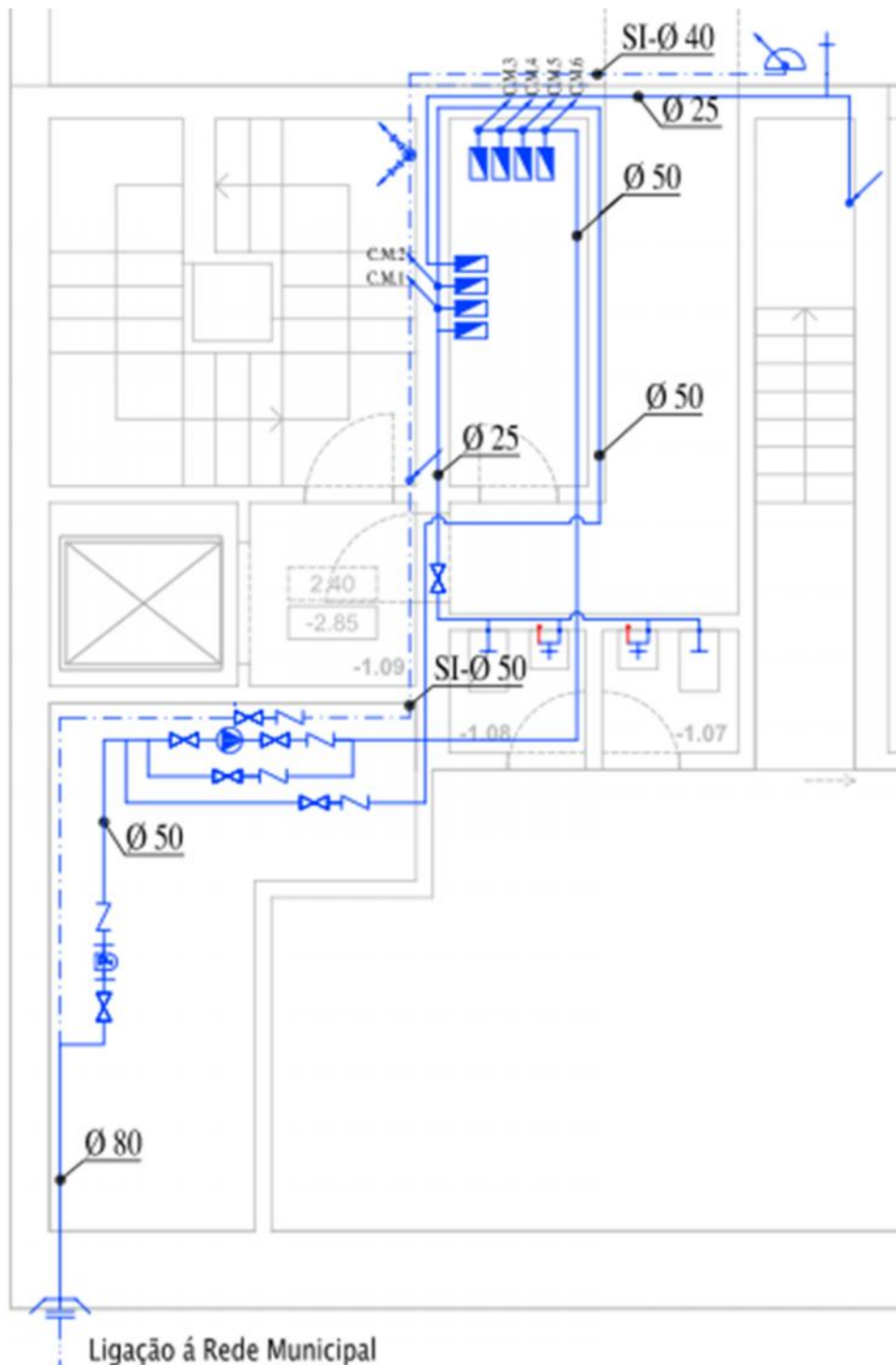
#### Simbologia

Piso – 2

	<b>Conduta Municipal</b>
	<b>Rede de Serviço de Incêndio</b>
	<b>Rede de Água Fria</b>
	<b>Rede de Água Quente</b>
	<b>Coluna Montante</b>
	<b>Prumada Ascendente</b>
	<b>Prumada Descendente</b>
	<b>Boca de Incêndio Tipo "Carretel"</b>
	<b>Boca de Incêndio Dupla <math>\varnothing</math> 50mm</b>
	<b>Válvula de Seccionamento</b>
	<b>Válvula de Retenção</b>
	<b>Filtro Flangeado</b>
	<b>Contador de Água</b>
	<b>Torneira de Serviço</b>
	<b>Esquentador</b>
	<b>Torneira Misturadora</b>
	<b>Torneira Misturadora com Bica Alta Móvel</b>
	<b>Torneira de Máquina de Lavar Roupas</b>
	<b>Torneira de Máquina de Lavar Louça</b>
	<b>Torneira de Esquadria para Autoclismo</b>

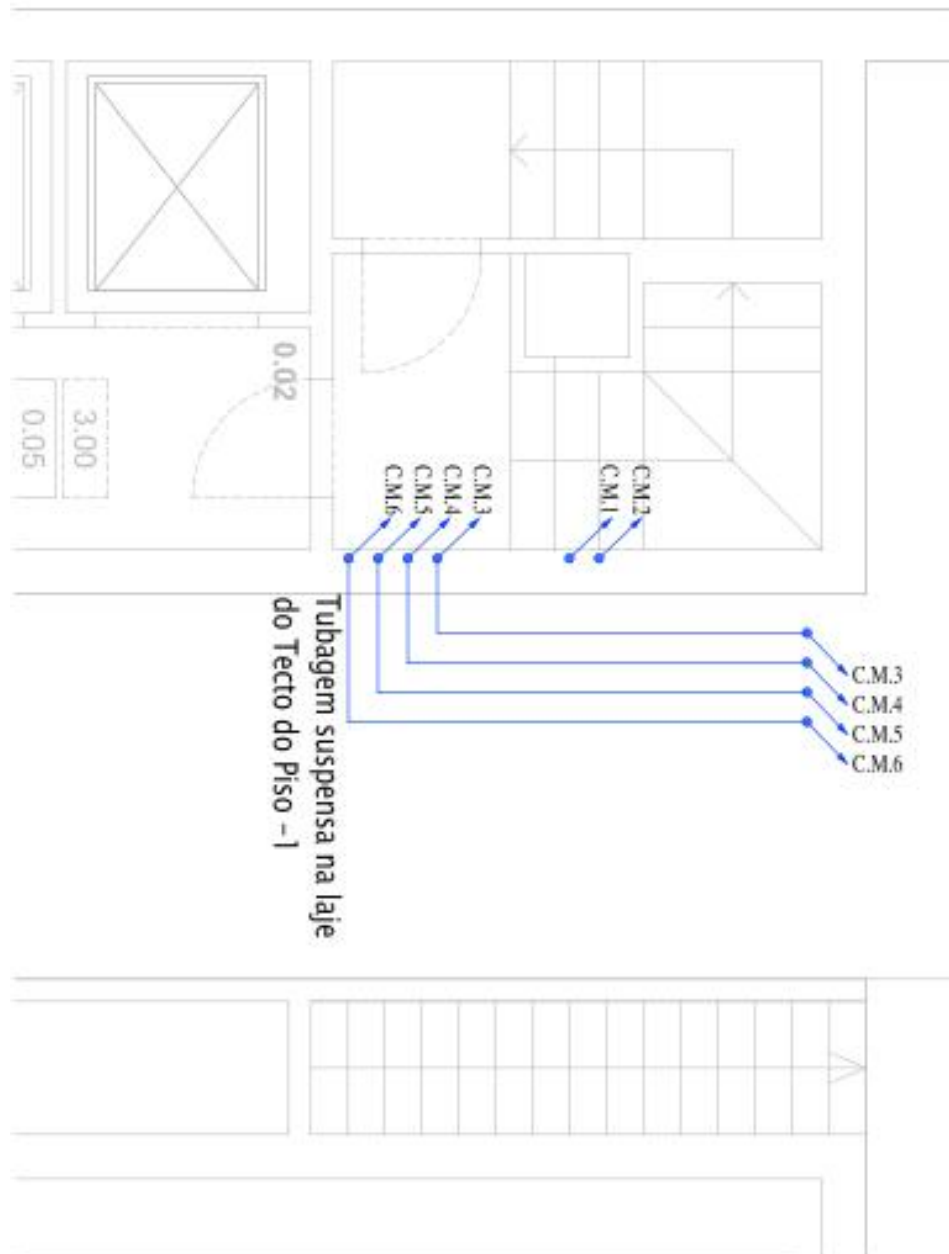


Piso – 1



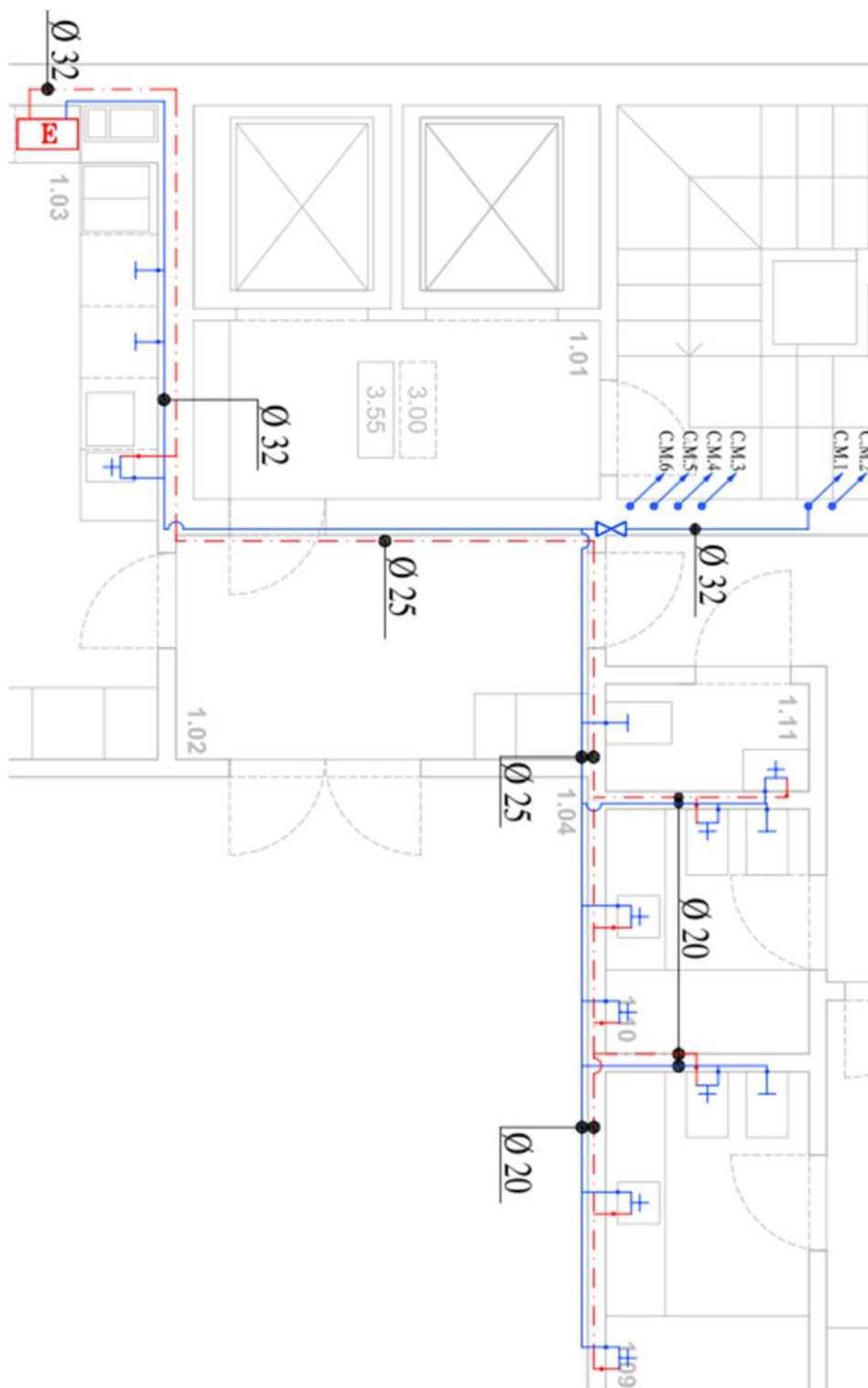


Piso 0

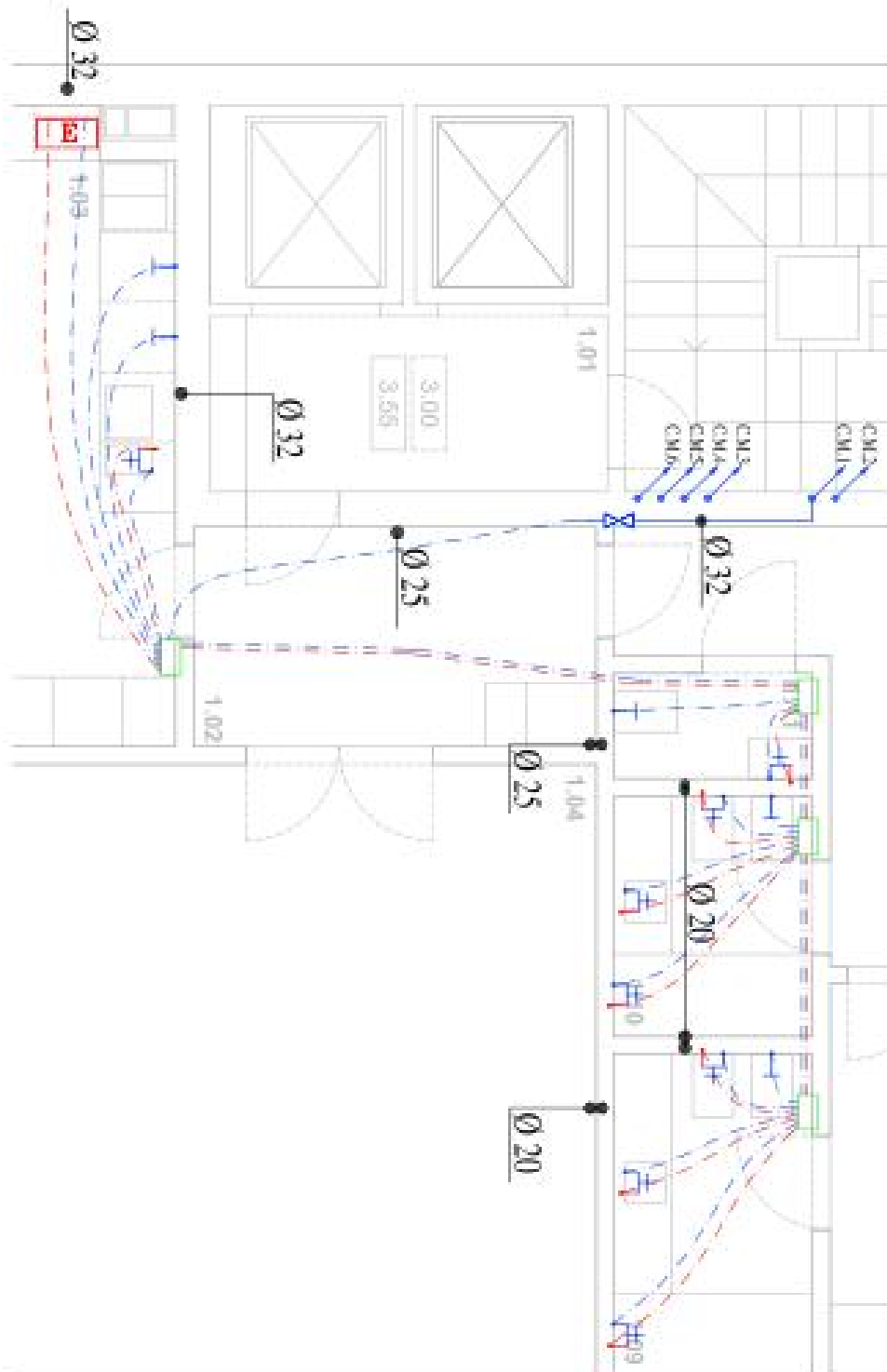




Piso 1, 2, 3, 4 e 5

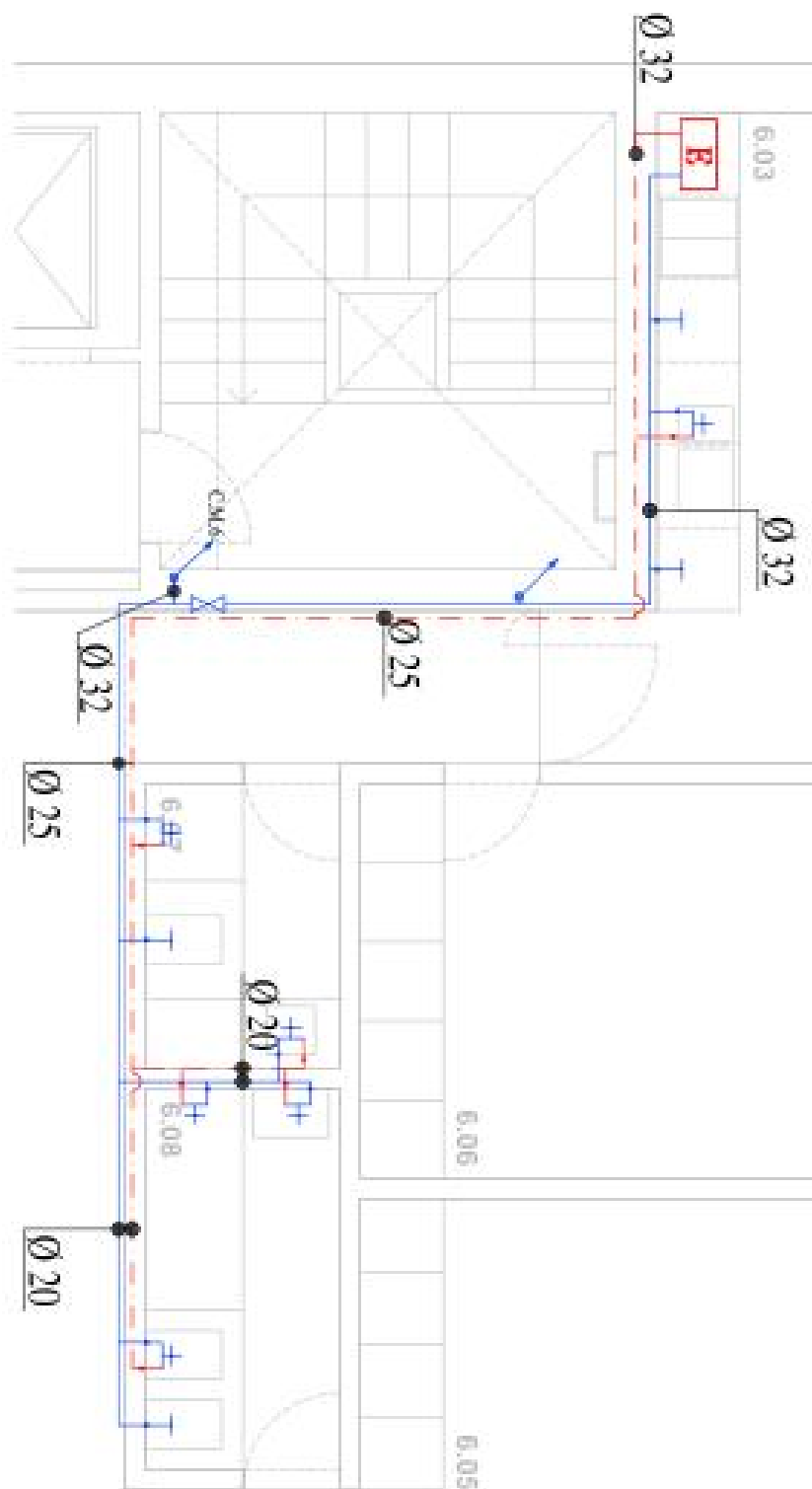


Piso 1, 2, 3, 4 e 5 - PE-X

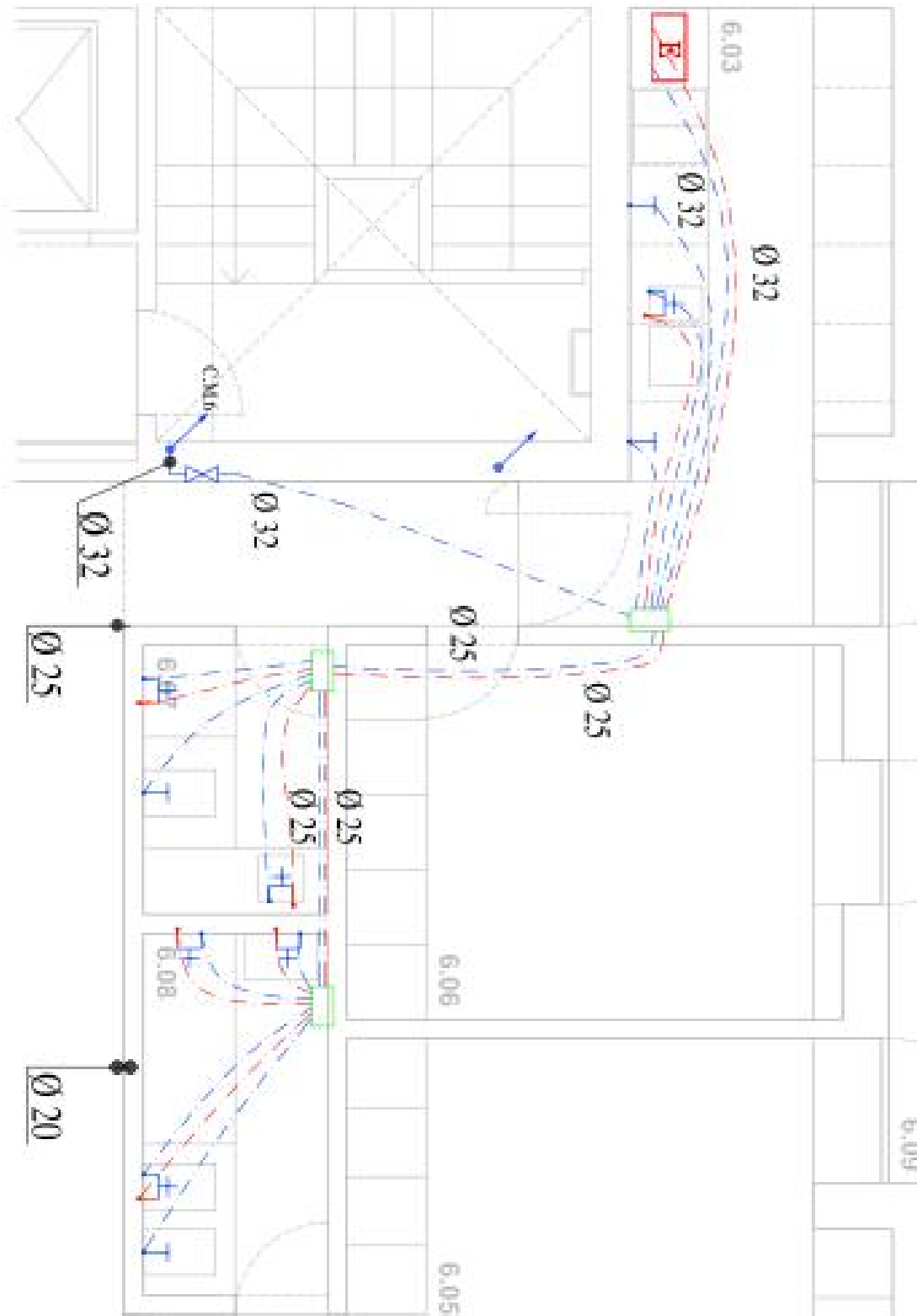




Piso 6

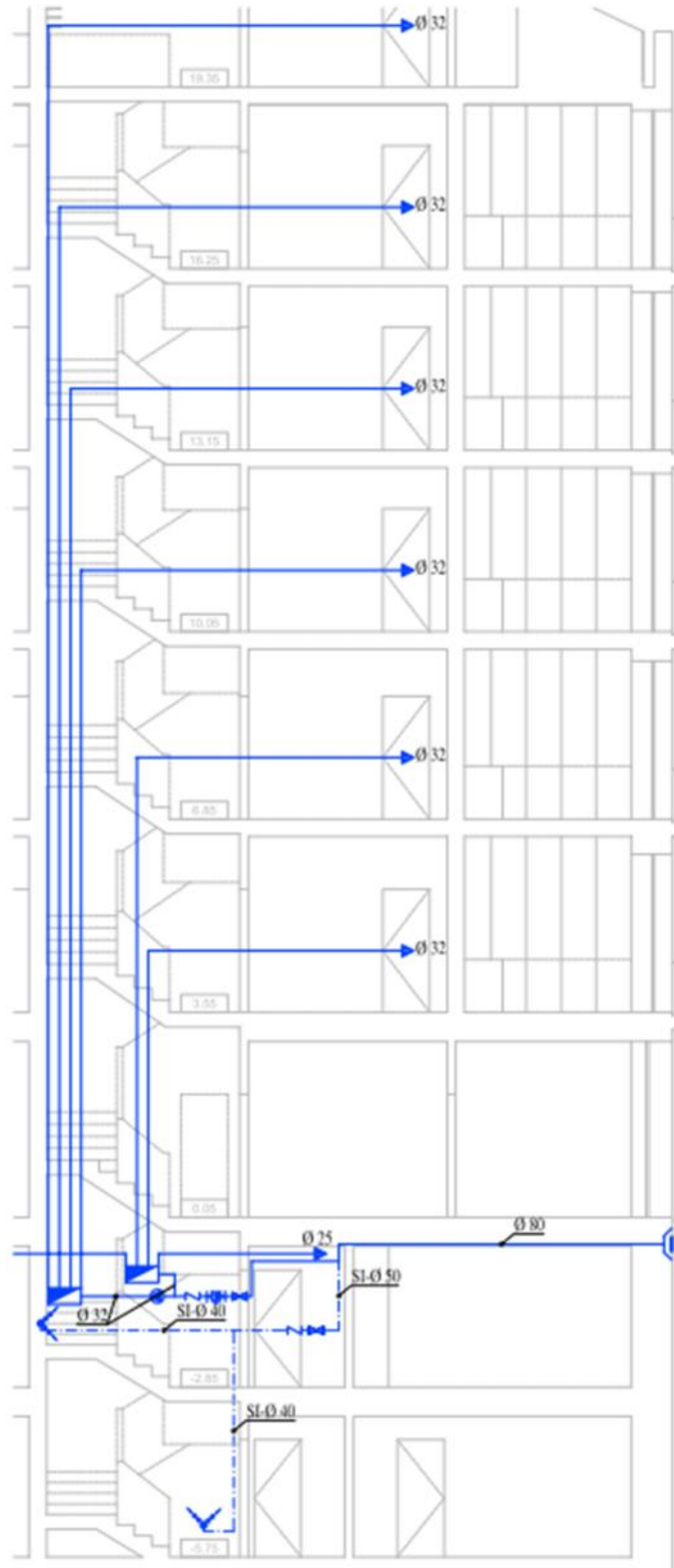


Piso 6 – PE-X





## Corte





## Anexo 2

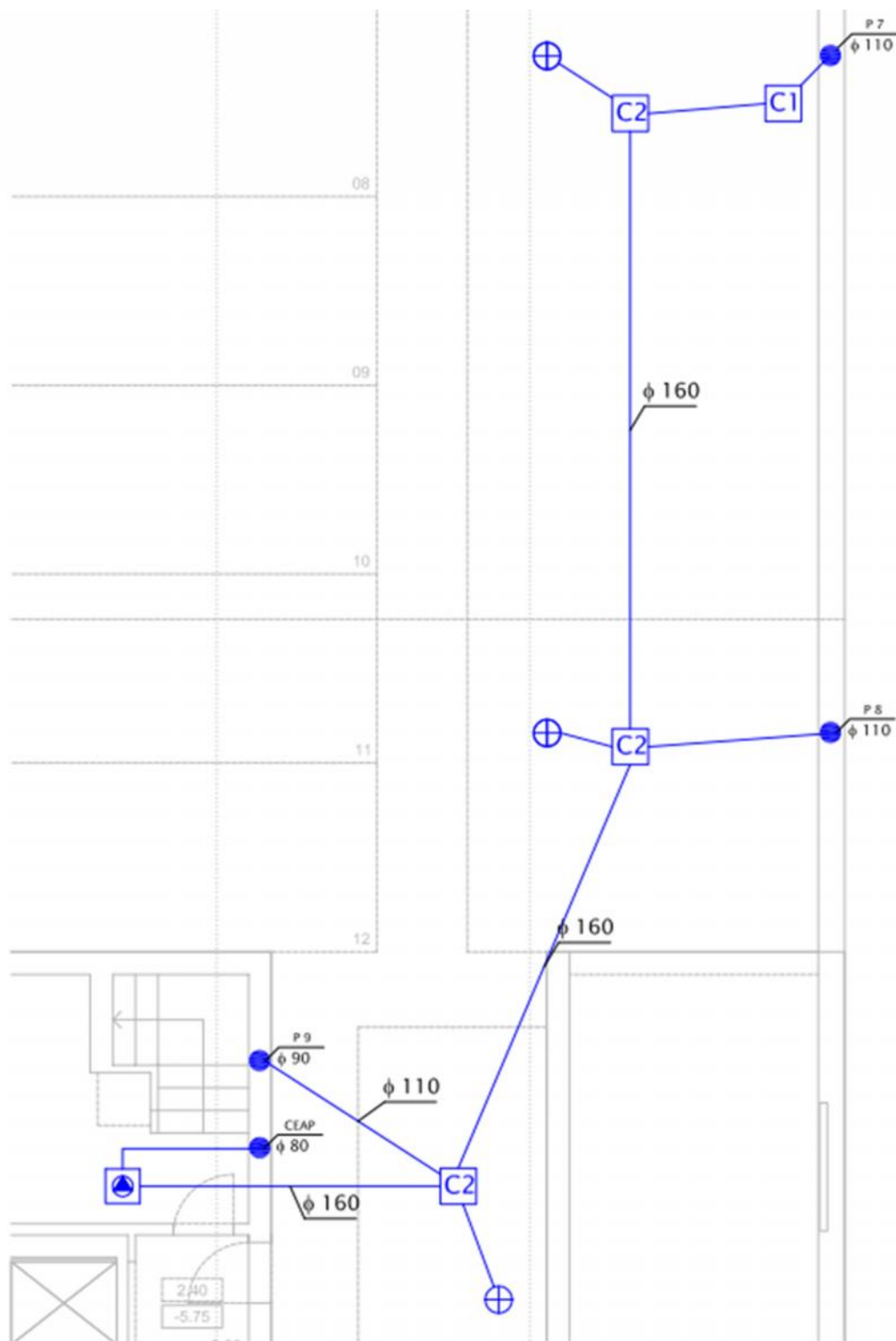
### Plantas da rede de esgotos residuais e pluviais utilizadas para a análise económica

#### Simbologia

Rede de Esgotos Domésticos	
Rede de Esgotos Pluviais	
Caixa de Visita 40 x 40	
Caixa de Visita 60 x 60	
Caixa de Visita 100 x 100	
Sistema de Bombagem	
Sifão de pavimento	
Ralo de pavimento	
Boca de Limpeza	
Tubo de Queda Doméstico	
Tubo de Queda Pluviais	

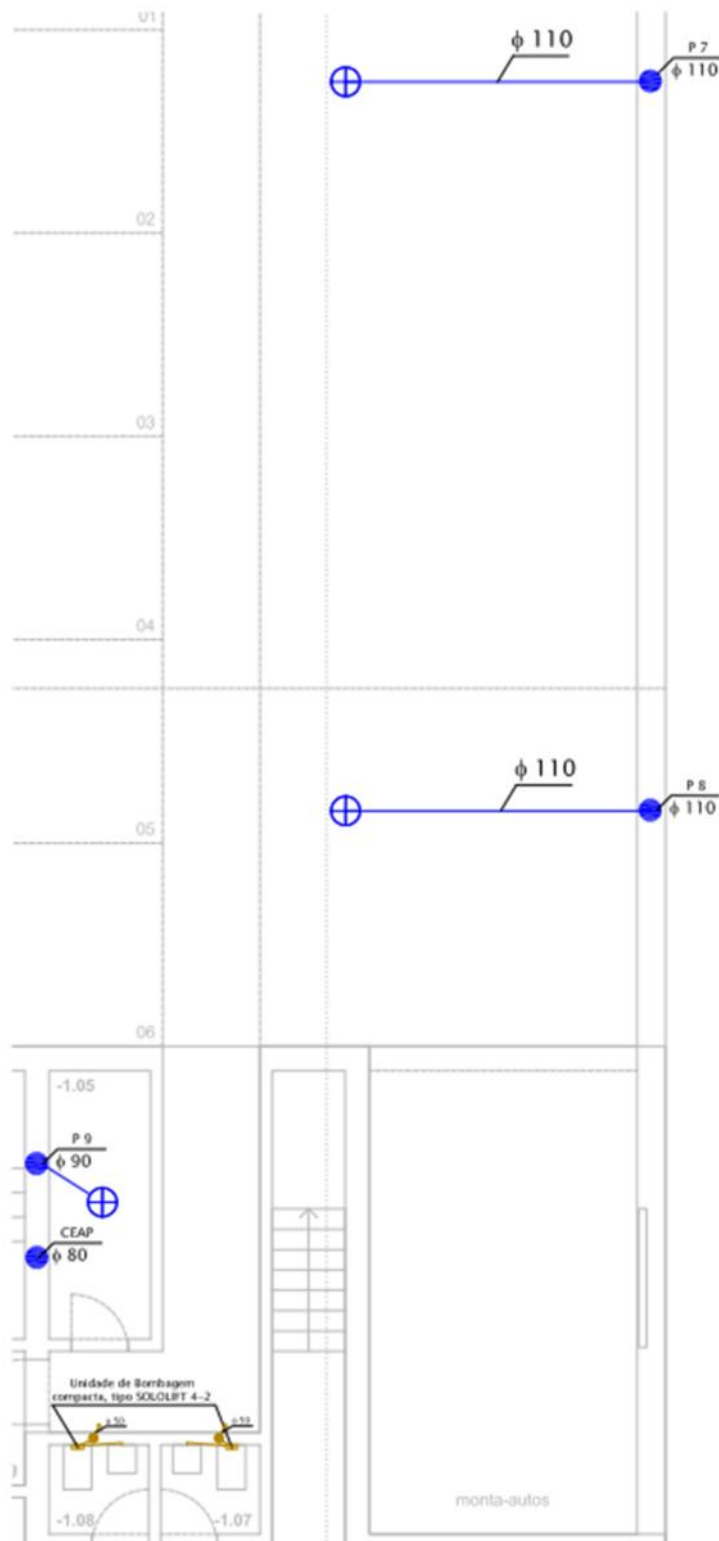


Piso – 2



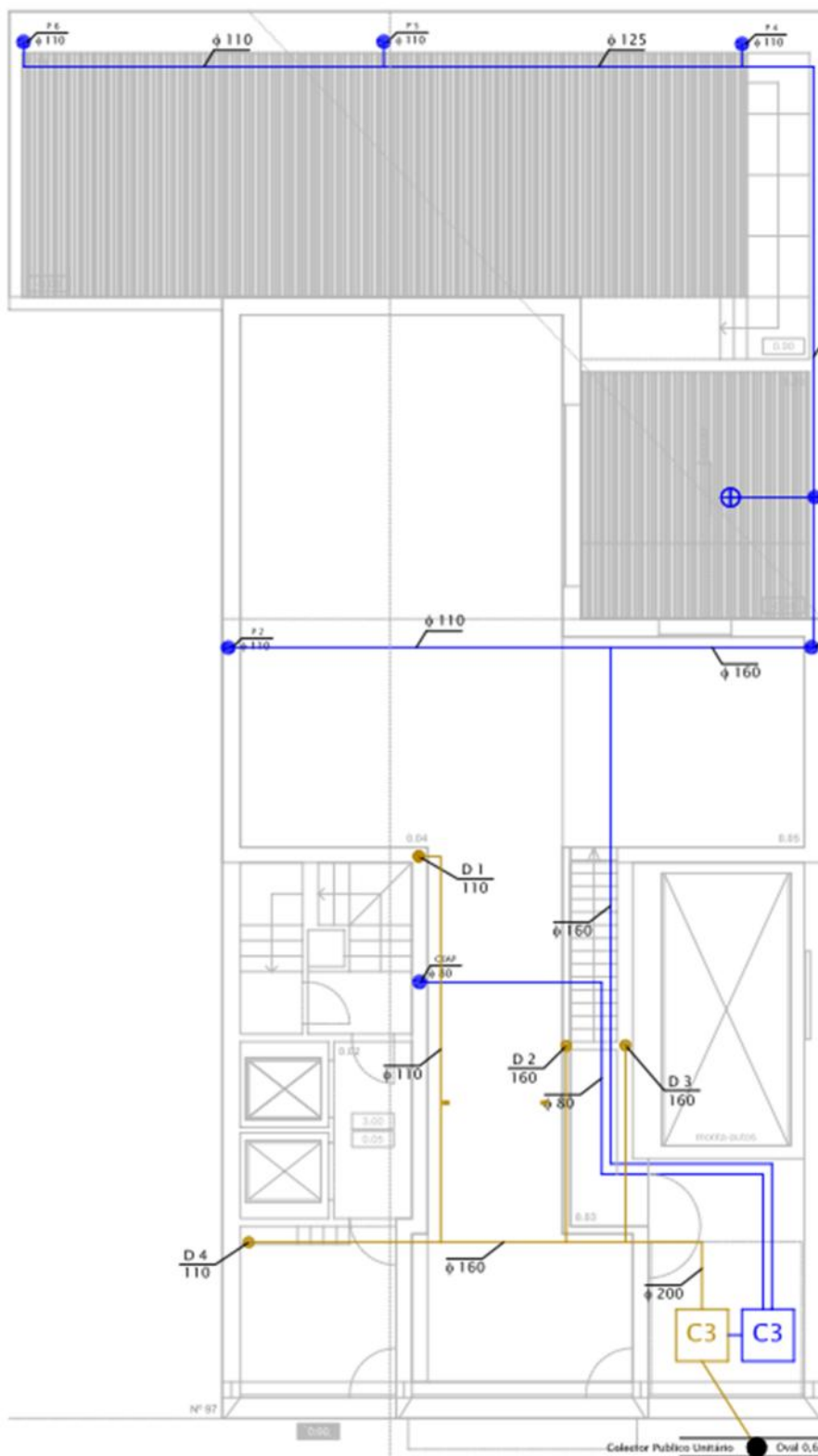


Piso -1

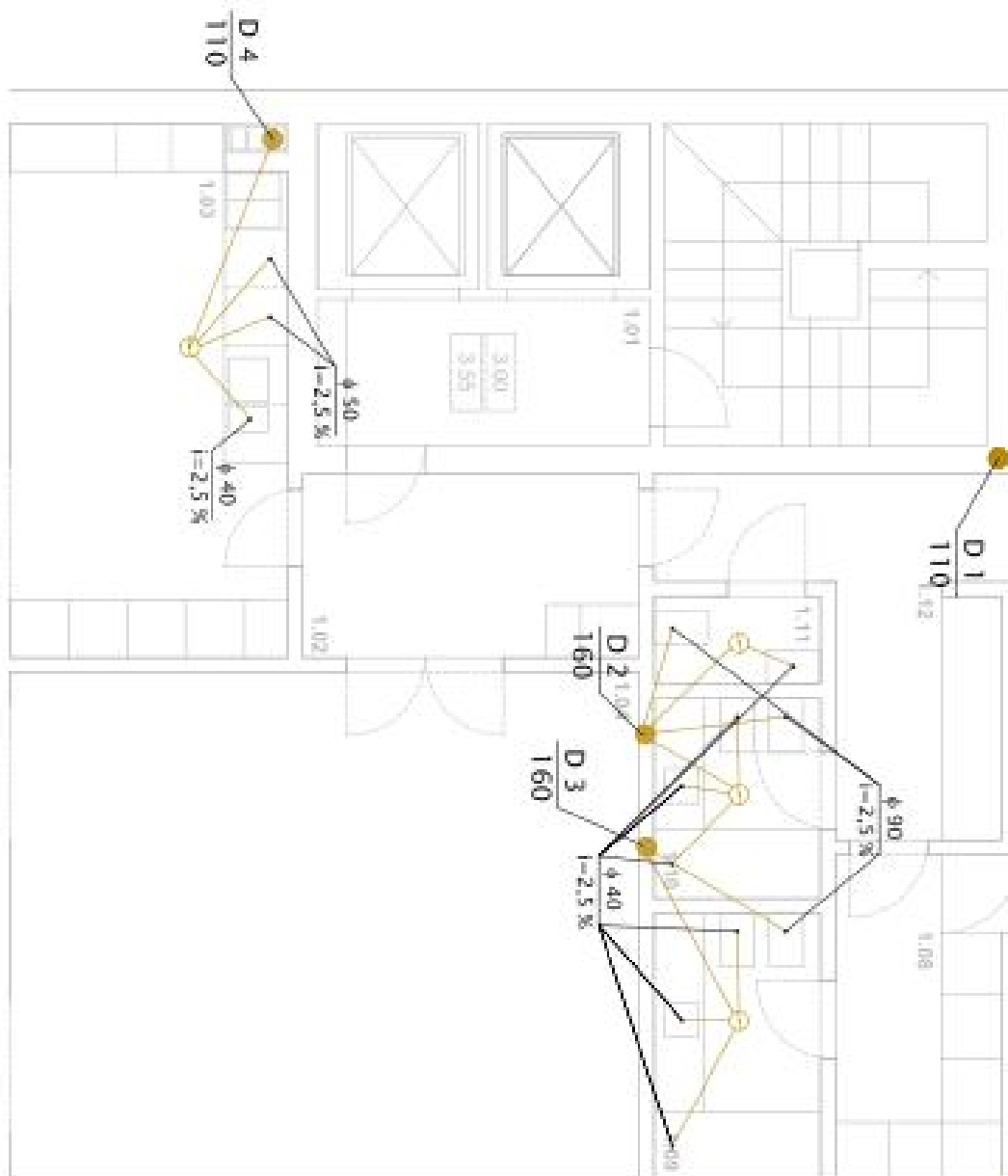




Piso 0



Piso 1, 2, 3, 4 e 5





Piso 6

