

OTIMIZAÇÃO DE REDES DE *SPRINKLERS* ATRAVÉS DE PROGRAMAÇÃO *DYNAMO* EM *REVIT*

RAFAEL LOURENÇO LOBO DOS SANTOS

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

Orientador:

Professor Doutor Miguel Jorge Chichorro Rodrigues Gonçalves

Coorientador:

Engenheiro Alberto Manuel Guimarães Brochado Teixeira

JUNHO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

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

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família

All heart. Grit. Grind.

Tony Allen

AGRADECIMENTOS

No primeiro semestre, enquanto procurava um tema para a minha tese, senti-me um pouco desorientado diante das diversas vertentes que me agradavam na Engenharia Civil. Foi nessa altura que o professor José Amorim Faria se disponibilizou para uma sessão de coaching, pela qual estou muito grato. Forneceu-me ideias importantes e incentivou-me a entrar em contato com o professor Miguel Chichorro Gonçalves.

Agradeço, então, ao professor Miguel Chichorro Gonçalves, o meu padrinho de Segurança Contra Incêndios, em primeiro lugar, por me ajudar a alinhar o tema, compreendendo o meu desejo de trabalhar simultaneamente com BIM e SCIE. Em segundo lugar, pela sua disponibilidade para reunir sempre que lhe solicitava e pela sua organização e método de trabalho. Em terceiro lugar, pela energia e motivação que me transmitiu, o que, muitas vezes, me deixou mais tranquilo e confiante no processo, parecendo, por vezes, que desejava o meu sucesso até mais do que eu mesmo. Em quarto lugar, agradeço pelo contato que me proporcionou com o Eng. Alberto Teixeira, da Struconcept, e com o Eng. Paulo Gomes, da APTA.

Expresso a minha gratidão ao pessoal da Struconcept, em especial ao Eng. Alberto Teixeira e ao José Pedroso. Ao Eng. Alberto, agradeço pelas ideias, pelo caso de estudo, pela licença da *Autodesk* e pelos almoços. Ao José Pedroso, agradeço pelo "chupacabras", por me apresentar as novas ferramentas e por me ensinar conceitos importantes de programação.

Agradeço ao Eng. Paulo Gomes da APTA por me ter fornecido as folhas de cálculo e por permitir a sua publicação nesta dissertação.

Agradeço aos Engenheiros Pedro Correia e Pedro Maia da K360, pela conversa que tivemos sobre *sprinklers* e pela disponibilidade para me ajudarem.

Agradeço à colega Cláudia Luís por me ter emprestado o livro sobre *sprinklers*.

Um agradecimento especial à Designer Inês Portela Santos, que desempenhou um papel crucial na identidade gráfica desta dissertação. Agradeço, em particular, a sua ajuda na definição das cores, na criação de várias imagens, na correção do português e na edição do vídeo.

Quero expressar a minha gratidão à minha mãe, Paula, e ao meu pai, Ramiro. Obrigado pelos valores que me transmitiram, especialmente o da importância da liberdade e da felicidade. E, também, aquele “clichêzinho” clássico de que a família é o mais importante. É, por isso, que gosto de ir a Esposende aos fins de semana, de forma consistente, para estar convosco. Lembro-me da primeira vez, mãe, em que mencionei o curso que queria escolher (Engenharia Civil) e não ficaste muito entusiasmada. Espero que agora tenhas uma perspetiva diferente e estejas mais animada. Obrigado, pai, pela garrafa que irás oferecer, involuntariamente, da tua célebre garrafeira para celebrarmos assim que a tese estiver entregue.

Agradeço ao meu avô, Toninho, e à minha avó, Idalina, pelo teto, comida na mesa e por fazerem tudo o que for necessário pelos netos. Sei, avô, que quiseste ser Engenheiro Civil: o teu sonho sempre foi construir casas. Embora as circunstâncias da vida não o tenham permitido, nada te impediu de abrires uma firma de construção civil e de contribuíres para a formação de dois Engenheiros Cívicos, primeiro um dos teus filhos, agora um dos teus netos. Avó, obrigado pelos cozinhados, pelos miminhos, pela roupa lavada e pela prontidão para fazer qualquer coisa por mim. E, já agora, peço desculpa por não avisar atempadamente se vou ou não almoçar/jantar.

Agradeço ao Tiago, o meu “gémeo do tempo”. Sei que nem sempre é fácil estar nos EUA, mas espero que não sintas, nunca, que me estás a falhar. Continua na luta, sempre com confiança no processo! És um exemplo para mim, sempre foste e sempre serás. Continua a espalhar o teu “barro” por qualquer sítio

que passas. Aproveito, também, para agradecer à Benedita. Espero que não fiquem chateados por partilharem este parágrafo. Obrigado pela tua presença, pela preocupação e pelo ursinho do “KPot”, que anda sempre à espreita na lateral da minha mochila. Obrigado por te estenderes como uma embaixada do Tiago, quando ele não está cá.

Agradeço à Nocas por estar presente em todos os momentos, pelo apoio, pela ajuda, pelas críticas construtivas e por ser um ponto de equilíbrio. Mostras-me que, algumas vezes, ser eficiente e prático não é a melhor abordagem e que nem tudo o que pode ser contado conta, nem tudo que conta pode ser contado. Obrigado por seres a minha melhor amiga e parceira para tudo, por alinhares nos meus planos e me aturares. Espero que estejas grata pelo teu privilégio de me aturar. É que até vale a pena “Quando A Alma Não É Pequena Vol. II”.

Deixo o meu agradecimento ao colega Engenheiro Civil Serginho por todas as conversas sobre a nossa profissão, à madrinha Lili e aos coitadinhos: Pedrinho, Constancinha e Mariazinha.

O meu agradecimento para os tios que estão sempre presentes: o tio Figueiredo e a tia Alice, assim como os primos Martinho e Bea.

Um obrigado aos “primos” de Esposende: ao Luís Pedro, ao Jonas, ao João Paulo, à Carolina, à Cunha, à Joana, ao Faria, ao Mota e à Losa. Nunca se esqueçam: “ser bairrista é coisa que não se aprende, não há ninguém que resista. Esposende! Esposende!! Esposende!!!”.

Agradeço à equipa do “Degrau 10”: Almany e Gonçalo.

Também agradeço ao Máquina e ao Nuno.

Peço desculpa por qualquer omissão nos agradecimentos e expresso a minha gratidão a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A presente tese tem como objetivo desenvolver uma metodologia de desenho e dimensionamento de redes de *sprinklers*, utilizando o *software Revit* e técnicas de programação em *Dynamo*. Visa, portanto, integrar o *Building Information Modeling* (BIM) e a Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE).

A motivação para este estudo surge da crescente adoção de metodologias BIM e do seu enorme potencial no setor da Engenharia Civil e da importância da Engenharia de Segurança Contra Incêndios (ESCI) na proteção de vidas humanas e redução de riscos. Através da convergência entre BIM e SCIE, procura-se explorar os Sistemas Automáticos de Extinção de Incêndios (SAEI), com foco na conceção eficiente das redes de *sprinklers*. No entanto, em Portugal, o conhecimento e aplicação do *software Revit*, em conjunto com os SAEI, ainda são limitados. A programação *Dynamo* no *Revit* é destacada como uma solução para otimizar o desenho e dimensionamento das redes de *sprinklers*, permitindo uma integração eficiente com outras ferramentas.

Assim, foi realizado um estudo abrangente da regulamentação portuguesa de SCIE e das diretrizes relacionadas às redes de *sprinklers*, bem como uma revisão da literatura sobre BIM focada na integração com os SAEI.

Para garantir um dimensionamento adequado das redes de *sprinklers*, foi conduzida uma pesquisa detalhada dos conceitos e princípios relacionados com o cálculo hidráulico, resultando na formulação de um procedimento de dimensionamento para SAEI. Dois referenciais normativos principais foram utilizados como guia para o dimensionamento das redes de *sprinklers*: o regulamento português de SCIE e a norma europeia para o projeto de redes de *sprinklers*. Esses documentos foram consultados para estabelecer os critérios e requisitos a serem considerados em projetos.

Para realizar o dimensionamento das redes de *sprinklers*, foi utilizada a folha de cálculo disponibilizada pela Associação de Produtores de Tubos e Acessórios (APTA). Essa ferramenta foi empregue, seguindo o procedimento de cálculo elaborado.

Utilizando as linguagens de programação *Dynamo* e *Python*, juntamente com outras ferramentas, foram desenvolvidos algoritmos e técnicas para criar um modelo de otimização inovador. Esse modelo considerou os requisitos dos referenciais normativos adotados, permitindo otimizar o desenho e o dimensionamento das redes de *sprinklers*.

O modelo de otimização desenvolvido foi aplicado a um estudo de caso real, onde diferentes cenários de configuração de redes de *sprinklers* foram considerados. Essa abordagem possibilitou a comparação dos resultados obtidos de acordo com a regulamentação portuguesa e a norma europeia, proporcionando uma análise mais abrangente e fundamentada.

PALAVRAS-CHAVE: SAEI, SCIE, BIM, Incêndio, *Dynamo*, *Revit*, *Sprinklers*

ABSTRACT

This thesis aims to develop a methodology for designing and sizing sprinkler systems using the Revit software and Dynamo programming techniques, with the goal of integrating Building Information Modeling (BIM) and Fire Safety Engineering (FSE).

The motivation for this study arises from the increasing adoption of BIM methodologies and their enormous potential in the Civil Engineering sector, as well as the importance of Fire Safety Engineering in protecting human lives and reducing risks. By converging BIM and FSE, the focus is on exploring Automatic Fire Suppression Systems (AFSS) with a specific emphasis on the efficient design of sprinkler systems. However, in Portugal, the knowledge and application of Revit software in conjunction with AFSS are still limited. Dynamo programming in Revit is highlighted as a solution to optimize the design and sizing of sprinkler systems, enabling efficient integration with other tools.

A comprehensive study was conducted on the Portuguese regulation of FSE and the guidelines related to sprinkler systems, as well as a literature review on BIM with a focus on integration with AFSS.

To ensure proper sizing of sprinkler systems, a detailed research on concepts and principles related to hydraulic calculation was conducted, resulting in the formulation of a sizing procedure for sprinkler systems. Two main regulatory references were used as a guide for the sizing of sprinkler systems: the Portuguese regulation for FSE and the European standard for sprinkler systems design. These documents were consulted to establish the criteria and requirements to be considered in projects.

To perform the sizing of sprinkler systems, the spreadsheet provided by APTA (Association of Pipe and Fittings Manufacturers) was used. This tool was employed, following the developed calculation procedure.

Using Dynamo and Python programming languages, along with other tools, techniques and algorithms were developed to create an innovative optimization model. This model considered the requirements of the adopted regulatory references, allowing for optimized design and sizing of sprinkler systems.

The developed optimization model was applied to a real case study, where different scenarios of sprinkler systems configurations were considered. This approach enabled the comparison of the results obtained according to the Portuguese regulation and the European standard, providing a more comprehensive and well-founded analysis.

KEYWORDS: AFSS, FSE, BIM, Fire, Dynamo, Revit, Sprinklers

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE QUADROS	XXI
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	XXV
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. ENQUADRAMENTO	1
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1. OBJETIVO GERAL	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4. METODOLOGIA	2
1.5. ESTRUTURA	3
 2. ESTADO DA ARTE: SCIE.....	 5
2.1. ENQUADRAMENTO: DO FOGO AOS SAEI.....	5
2.1.1. O FOGO.....	5
2.1.2. O INCÊNDIO	7
2.1.3. MECANISMOS E AGENTES DE EXTINÇÃO	10
2.1.4. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS.....	12
2.1.4.1. Princípios gerais	12
2.1.4.2. Utilizações-tipo.....	12
2.1.4.3. Locais de Risco.....	13
2.1.4.4. Categorias de risco	13
2.1.4.5. Meios de intervenção	14
2.1.4.6. Prescrição regulamentar de instalação de SAEI	16
2.2. SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE EXTINÇÃO DE INCÊNDIOS.....	17
2.2.1. <i>SPRINKLERS</i> : DEFINIÇÃO E CONSTITUIÇÃO	17
2.2.2. TIPOLOGIA DE <i>SPRINKLERS</i>	18
2.2.2.1. Elemento termossensível	18
2.2.2.2. Temperatura de ativação	18

2.2.2.3. Tempo de resposta	19
2.2.2.4. Área de cobertura e padrão de descarga	20
2.2.2.5. Coeficiente de descarga “K”	20
2.2.2.6. Orientação de instalação.....	21
2.2.2.7. Condições especiais de uso.....	22
2.2.2.8. Tecnologia recente.....	22
2.2.2.9. Identificação de <i>sprinklers</i>	23
2.2.3. REDE DE <i>SPRINKLERS</i> : DEFINIÇÃO E CONSTITUIÇÃO	24
2.2.4. TIPOLOGIA DE REDES DE <i>SPRINKLERS</i>	24
2.2.4.1. Tipos de traçado e de redes.....	24
2.2.4.2. Tipos de SAEI por Agente extintor	25
2.2.4.3. Tipos de SAEI por água	25
2.2.5. TUBAGEM E ACESSÓRIOS	29
2.2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS	30
2.3. REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA.....	32
2.3.1. RT-SCIE [19] E NT’S	32
2.4. NORMA EUROPEIA: NP EN 12845 [38].....	33
2.4.1. CLASSES DE RISCO	33
2.4.2. CRITÉRIOS DE PROJETO HIDRÁULICO	35
2.4.3. ABASTECIMENTO DE ÁGUA	36
2.4.4. TIPOLOGIA E DIMENSÃO DA INSTALAÇÃO	36
2.4.5. ESPAÇAMENTO E LOCALIZAÇÃO DE <i>SPRINKLERS</i>	37
2.4.6. DIMENSIONAMENTO E TRAÇADO DAS TUBAGENS.....	38
2.4.6.1. Cálculo de perdas de pressão nas tubagens.....	38
2.4.6.2. Sistemas pré-calculados	38
2.4.6.3. Sistemas completamente calculados	39
2.4.7. UTILIZAÇÕES DE <i>SPRINKLERS</i>	40
2.4.8. OUTRAS DISPOSIÇÕES RELEVANTES.....	41
3. ESTADO DA ARTE: BIM	43
3.1. INTRODUÇÃO AOS SOFTWARES CENTRAIS: REVIT E DYNAMO	43
3.2. FLUXOS DE TRABALHO	45
3.2.1. <i>REVIT</i>	45
3.2.2. <i>DYNAMO</i>	47
3.2.3. <i>PYTHON</i>	48

3.2.4. DYNAMO PLAYER	49
3.3. REVIT FERRAMENTAS.....	50
3.3.1. REVIT GENERATIVE DESIGN	50
3.3.2. REVIT API	51
3.3.3. EXTENSÕES/PLUG-INS	52
3.3.3.1. DiRootsone	52
3.3.3.2. Speckle	53
4. DIMENSIONAMENTO DE SAEI	55
4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	55
4.2. DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJETO.....	56
4.2.1. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO O RT-SCIE [19]	56
4.2.2. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NP EN 12845 [38].....	58
4.3. DIMENSIONAMENTO DOS TROÇOS DE TUBAGEM: PROCEDIMENTO CONJUNTO	59
4.3.1. DIMENSIONAMENTO PARA RAMAIS	59
4.3.2. DIMENSIONAMENTO PARA COLETORES	62
4.4. DIMENSIONAMENTO DA BOMBA E DO RESERVATÓRIO	64
4.4.1. DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES DE CAUDAL E PRESSÃO	64
4.4.2. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO O RT-SCIE [19]	64
4.4.3. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NP EN 12845 [38].....	66
5. MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE SAEI EM DYNAMO	69
5.1. PROCESSO / ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA.....	69
5.2. OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA	70
5.2.1. EDIFÍCIO / COMPARTIMENTO EXEMPLO	70
5.2.2. COLOCAÇÃO DOS SPRINKLERS.....	70
5.2.3. COLOCAÇÃO DOS TROÇOS DE TUBAGEM SPRINKLER–RAMAL.....	72
5.2.4. COLOCAÇÃO DOS RAMAIS.....	74
5.2.5. COLOCAÇÃO DOS ACESSÓRIOS	77
5.2.5.1. Dynamo	77
5.2.5.2. Python: Nó de colocação de cruzetas	80
5.3. OTIMIZAÇÃO HIDRÁULICA	82
5.3.1. INTRODUÇÃO	82
5.3.2. ESTRUTURAÇÃO DA TUBAGEM	82
5.3.2.1. Determinação do caminho crítico	82

5.3.2.2. Organização dos ramais por níveis	84
5.3.3. EXPORTAÇÃO PARA O EXCEL	85
5.3.4. CÁLCULO HIDRÁULICO.....	87
5.3.5. IMPORTAÇÃO PARA O REVIT.....	88
5.4. MEDIDAS ORIENTADORAS / EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO	90

6. ESTUDO DE CASO 93

6.1. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	93
6.2. CLASSIFICAÇÃO DO RISCO (SCIE).....	96
6.2.1. REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA.....	96
6.2.2. NORMA EUROPEIA	96
6.3. ESTRATÉGIA.....	97
6.4. CONFIGURAÇÃO EM PENTE.....	99
6.4.1. TRAÇADO DA REDE.....	99
6.4.2. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA: CENÁRIO 1	100
6.4.3. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NORMA EUROPEIA: CENÁRIO 2	101
6.5. CONFIGURAÇÃO EM ÁRVORE.....	103
6.5.1. TRAÇADO DA REDE.....	103
6.5.2. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA: CENÁRIO 3	104
6.5.3. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NORMA EUROPEIA: CENÁRIO 4	106
6.6. COMPARAÇÃO DOS 4 CENÁRIOS / ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	107

7. CONCLUSÕES 111

7.1. REFLEXÕES FINAIS	111
7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

ANEXOS 121

ANEXO A – FOLHAS DE CÁLCULO APTA	121
ANEXO B – DIÂMETROS COLOCADOS NA TUBAGEM: ESTUDO DE CASO	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Triângulo do fogo. Fig. do Autor.	5
Fig. 2 - Tetraedro do fogo. Adaptado de [2].	6
Fig. 3 - Produtos de combustão. Fig. do Autor.	7
Fig. 4 - Formas de transmissão do calor. Adaptado de [10].	8
Fig. 5 - curva de incêndio natural. Adaptado de [10, 12].	9
Fig. 6 - mecanismos de extinção. Adaptado de [14].	11
Fig. 7 - Sinalização de alguns meios de 1ª intervenção [20].	15
Fig. 8 - Sinalização de alguns meios de 2ª intervenção [20, 21].	15
Fig. 9 - Sinalização de <i>sprinklers</i> [21].	15
Fig. 10 - Elementos constituintes de um <i>sprinkler</i> . Fig. do Autor.	17
Fig. 11 - <i>Sprinkler</i> de ampola de vidro (esq.) e <i>sprinkler</i> de fusível térmico (dir.) [24].	18
Fig. 12 - <i>Sprinklers</i> de resposta rápida. Adaptado de [27].	19
Fig. 13 - Áreas de cobertura. Adaptado de [28].	20
Fig. 14 - <i>Sprinkler</i> pendente (esq.), de parede (centro) e montante (dir.) [24].	21
Fig. 15 - <i>Sprinkler</i> embutido (esq.) e oculto (dir.) [29, 30].	21
Fig. 16 - <i>Sprinkler</i> aberto (esq.), para nível intermédio (centro) e seco (dir.) [31-33].	22
Fig. 17 - <i>Sprinkler</i> polimérico (esq.) e de ativação elétrica (dir.) [35, 36].	23
Fig. 18 - Identificação de <i>Sprinklers</i> . Adaptado de [24].	23
Fig. 19 - Elementos principais de uma instalação de <i>sprinklers</i> . Adaptado de [38].	24
Fig. 20 - Tipos de traçados. Adaptado de [39].	24
Fig. 21 - Tipos de alimentação: Central (esq.) e de topo (dir.) [38].	25
Fig. 22 - Esquema de funcionamento dos sistemas de cortina de água [41].	26
Fig. 23 - Mecanismos de extinção: água nebulizada. Adaptado de [42].	27
Fig. 24 - Comparação do volume de água utilizado: <i>sprinkler</i> tradicional vs de água nebulizada [42].	27
Fig. 25 - Tipos de <i>sprinklers</i> presentes em incêndios (EUA) : 2015–2019. Adaptado de [43].	28
Fig. 26 - Exemplo de posto de comando húmido. Adaptado de [22].	28
Fig. 27 - Alguns acessórios roscados (fabricante ATUSA). Adaptado de [18].	29
Fig. 28 - Alguns acessórios ranhurados (fabricante ATUSA). Adaptado de [18].	29
Fig. 29 - Vários tipos de acessórios para conexão de <i>sprinklers</i> à tubagem [44-48].	30
Fig. 30 - Algumas estatísticas dos EUA, 2015-2019. Adaptado de [43].	31

Fig. 31 - Operação e eficácia de SAEI (EUA, 2015-2019). Adaptado de [43].	31
Fig. 32 - Causas da operação deficiente e da não operação dos SAEI (EUA, 2015-2019). [43]	31
Fig. 33 - Fluxograma de definição das classes requeridas para o armazenamento. Adaptado de [38].	35
Fig. 34 - Configurações para <i>sprinklers</i> de cobertura e de teto [38].	37
Fig. 35 - Áreas de operação mais favoráveis e desfavoráveis em configuração em grelha [38].	39
Fig. 36 - Curva de adoção de BIM. Adaptado de [59].	43
Fig. 37 - <i>Layout</i> do Revit. Fig. do Autor.	44
Fig. 38 - <i>Layout</i> do Dynamo. Fig. do Autor.	44
Fig. 39 - Hierarquia de elementos Revit. Adaptado de [61].	45
Fig. 40 - Parâmetros de uma família de <i>sprinklers</i> . Fig. do Autor.	46
Fig. 41 - Exemplo de um grafo. Fig. do Autor.	47
Fig. 42 - Nó "Python Script". Fig. do Autor.	48
Fig. 43 - Objetos, métodos e atributos. Adaptado de [66].	48
Fig. 44 - <i>Dot Notation</i> . Adaptado de [66].	49
Fig. 45 - Diálogos e funcionamento do <i>Dynamo Player</i> . Fig. do Autor.	50
Fig. 46 - Processo do <i>Generative Design</i> [68].	51
Fig. 47 - Exemplo de navegação no Revit API Docs. Adaptado de [69].	52
Fig. 48 - Funcionalidades da extensão <i>DiRootsOne</i> [70].	52
Fig. 49 - Diálogos das ferramentas "ParaManager" (esq.) e "FamilyReviser" (dir.). Fig. do Autor.	53
Fig. 50 - Acesso a um modelo Revit via <i>Speckle</i> . Fig. do Autor.	54
Fig. 51 - Folha de cálculo da APTA para SAEI. Fig. do Autor.	55
Fig. 52 - Curva característica de uma bomba. Adaptado de [56].	65
Fig. 53 - Curvas características da instalação e da bomba: folha de calc. APTA. Fig. do Autor.	67
Fig. 54 - Vista tridimensional do compartimento exemplo. Fig. do Autor.	70
Fig. 55 - Grafo A: colocação de <i>sprinklers</i> (Dynamo). Fig. do Autor.	71
Fig. 56 - Perímetro inicial, perímetro transformado e vértices opostos (Dynamo). Fig. do Autor.	71
Fig. 57 - Pontos criados para a colocação de <i>sprinklers</i> (Dynamo). Fig. do Autor.	72
Fig. 58 - <i>Sprinklers</i> colocados: vista em planta e em perspectiva pelo interior (Revit). Fig. do Autor.	72
Fig. 59 - Grafo B: colocação de troços de tubagem <i>sprinkler</i> -ramal (Dynamo). Fig. do Autor.	72
Fig. 60 - Resultados gráficos do script B (Dynamo). Fig. do Autor.	73
Fig. 61 - Tubagem colocada: vista em perspectiva pelo interior (Revit). Fig. do Autor.	73
Fig. 62 - Grafo C: Colocação dos ramais (Dynamo). Fig. do Autor.	74

Fig. 63 - Resultados gráficos <i>script</i> C: config. em pente (<i>Dynamo</i>). Fig. do Autor.....	75
Fig. 64 - Resultados gráficos <i>script</i> C: config. em árvore (<i>Dynamo</i>). Fig. do Autor.....	75
Fig. 65 - Ramais colocados em pente: vista tridimensional e em planta (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.	76
Fig. 66 - Ramais colocados em pente: vista em perspectiva pelo interior (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.	76
Fig. 67 - Ramais colocados em árvore: vista tridimensional e em planta (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.	76
Fig. 68 - Ramais colocados em árvore: vista em perspectiva pelo interior (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.....	77
Fig. 69 - Grafo D: Colocação dos acessórios (<i>Dynamo</i>). Fig. do Autor.....	78
Fig. 70 - Tipos de “tês” e joelhos. Fig. do Autor.	78
Fig. 71 - Acessórios colocados em pente: vistas tridimensionais (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.	79
Fig. 72 - Acessórios colocados em pente: vista em perspectiva pelo interior (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.....	79
Fig. 73 - Acessórios colocados em árvore: vistas tridimensionais (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.	79
Fig. 74 - Acessórios colocados em árvore: vista em perspectiva pelo interior (<i>Revit</i>). Fig. do Autor. ...	80
Fig. 75 - Procedimento para a elaboração do <i>script</i> de criação de cruzetas. Fig. do Autor.....	81
Fig. 76 - Nó personalizado de criação de cruzetas. Fig. do Autor.	81
Fig. 77 - Grafo E: Determinação do caminho crítico (<i>Dynamo</i>). Fig. do Autor.	83
Fig. 78 - Resultados gráficos <i>script</i> E (<i>Dynamo</i>). Fig. do Autor.....	83
Fig. 79 - Determinação do caminho crítico: vistas tridimensionais (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.....	84
Fig. 80 - Grafo F: Organização dos ramais por níveis (<i>Dynamo</i>). Fig. do Autor.	84
Fig. 81 - Organização dos ramais por níveis: vistas tridimensionais (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.	85
Fig. 82 - Grafo G: Exportação para o <i>Excel</i> (<i>Dynamo</i>). Fig. do Autor.	86
Fig. 83 - Codificação dos troços (vista em planta): folha de calc. APTA. Adaptado de [18].	86
Fig. 84 - Excerto da folha de cálculo da APTA: resultados do grafo G. Fig. do Autor.....	87
Fig. 85 - Resultados do dimensionamento: config. em pente. Fig. do Autor.	88
Fig. 86 - Resultados do dimensionamento: config. em árvore. Fig. do Autor.	88
Fig. 87 - Grafo H: Importação para o <i>Revit</i> (<i>Dynamo</i>). Fig. do Autor.	88
Fig. 88 - Diâmetros atribuídos: config. em pente (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.....	89
Fig. 89 - Diâmetros atribuídos: config. em árvore (<i>Revit</i>). Fig. do Autor.....	90
Fig. 90 - Grafos de otimização de redes de <i>sprinklers</i> no <i>Dynamo Player</i> : Fig. do Autor.	91
Fig. 91 - Código QR de acesso ao vídeo. Fig. do Autor.	92
Fig. 92 - Isometrias: caso de estudo. Fig. do Autor.	93
Fig. 93 - Isometrias estruturais: caso de estudo. Fig. do Autor.	94
Fig. 94 - Layout do edifício: caso de estudo. Fig. do Autor.....	94

Fig. 95 - Alçados: caso de estudo. Fig. do Autor.	95
Fig. 96 - Corte na zona de armazenamento: caso de estudo. Fig. do Autor.	96
Fig. 97 - <i>Sprinklers</i> colocados: vista em planta com e sem as estantes. Fig. do Autor.	98
Fig. 98 - <i>Sprinklers</i> colocados: vista em corte. Fig. do Autor.	98
Fig. 99 - Config. em pente: vista em planta. Fig. do Autor.	99
Fig. 100 - Config. em pente: isometria realista. Fig. do Autor.	99
Fig. 101 - Config. em pente: isometria esquemática. Fig. do Autor.	100
Fig. 102 - Diâmetros atribuídos: cenário 1. Fig. do Autor.	101
Fig. 103 - Diâmetros atribuídos: cenário 2. Fig. do Autor.	102
Fig. 104 - Config. em árvore: vista em planta. Fig. do Autor.	103
Fig. 105 - Config. em árvore: isometria realista. Fig. do Autor.	103
Fig. 106 - Config. em árvore: Isometria esquemática. Fig. do Autor.	104
Fig. 107 - Diâmetros atribuídos: cenário 3. Fig. do Autor.	105
Fig. 108 - Diâmetros atribuídos: cenário 4. Fig. do Autor.	106
Fig. 109 - Relação entre a necessidade de caudal e o diâmetro interior médio. Fig. do Autor.	107
Fig. 110 - Necessidade de pressão. Fig. do Autor.	108

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de fogos. Adaptado de [5].	6
Quadro 2 - Agentes extintores e classes de fogos. Quadro do Autor.	11
Quadro 3 - Utilizações-tipo de edifícios e recintos. Quadro do Autor.	12
Quadro 4 - Fatores de risco. Adaptado de [18].	14
Quadro 5 - Necessidade de implementação de <i>sprinklers</i> . Quadro do Autor.	16
Quadro 6 - Código de cores por temperatura de operação. Adaptado de [25, 26].	18
Quadro 7 - Critérios de dimensionamento de SAEI por água [19].	32
Quadro 8 - Ocupações de Risco Ligeiro, classificação mínima de riscos [38].	34
Quadro 9 - Ocupações de Risco Ordinário, classificação mínima de riscos. Exemplos [38].	34
Quadro 10 - Ocupações de Risco Elevado, classificação mínima de riscos. Exemplos [38].	34
Quadro 11 - Critérios de projeto para classes LH, OH e HHP [38].	35
Quadro 12 - Área máxima protegida em instalações húmidas [38].	37
Quadro 13 - Área de cobertura e espaçamento máximos para <i>sprinklers</i> de cobertura e de teto [38].	37
Quadro 14 - Localização dos pontos de projeto - OH, HHP e HHS [38].	39
Quadro 15 - Diâmetro mínimo das tubagens [38].	40
Quadro 16 - Tipos de <i>sprinklers</i> e fatores K para as várias classificações de risco [38].	40
Quadro 17 - Sensibilidade térmica do <i>sprinkler</i> [38].	41
Quadro 18 - Parâmetros de projeto para suportes de tubos [38].	41
Quadro 19 - Dimensões mínimas dos perfis de ferro e grampos de suspensão [38].	41
Quadro 20 - Dimensões e características dos <i>sprinklers</i> [18].	57
Quadro 21 - Esquema de cores para os níveis dos ramais. Quadro do Autor.	85
Quadro 22 - Esquema de cores: diâmetros. Quadro do Autor.	90
Quadro 23 - Características de projeto: RT-SCIE vs NP EN 12845. Quadro do Autor.	97
Quadro 24 - Consumo de tubos: cenário 1. Quadro do Autor.	101
Quadro 25 - Necessidades de caudal e de pressão: cenário 1. Quadro do Autor.	101
Quadro 26 - Consumo de tubos: cenário 2. Quadro do Autor.	102
Quadro 27 - Necessidades de caudal e de pressão: cenário 2. Quadro do Autor.	102
Quadro 28 - Consumo de tubos: cenário 3. Quadro do Autor.	105
Quadro 29 - Necessidades de caudal e de pressão: cenário 3. Quadro do Autor.	105
Quadro 30 - Consumo de tubos: cenário 4. Quadro do Autor.	106

Quadro 31 - Necessidades de caudal e de pressão: cenário 4. Quadro do Autor.	106
Quadro 32 - Comparação dos resultados do dimensionamento dos 4 cenários. Quadro do Autor. ..	107

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

1. Símbolos

$\Delta P_{\text{acum coletor}}$ – perda de carga dinâmica acumulada no coletor [KPa]

$\Delta P_{\text{aspiração}}$ – perda de carga total na tubagem de aspiração [KPa]

$\Delta P_{\text{dinâmica}}$ – perda de carga dinâmica no troço de tubagem [KPa]

$\Delta P_{\text{estática}}$ – perda de carga estática no troço de tubagem [KPa]

$\Delta P_{\text{estática total}}$ – perda de carga estática total da rede de *sprinklers* [KPa]

A_{4s} – área de cobertura do grupo de 4 *sprinklers* [m²]

A_o – área de operação da rede de *sprinklers* [m²]

A_s – área de cobertura máxima por *sprinkler* [m²]

C – constante para o tipo e estado da tubagem [adimensional]

C_{inst} – constante hidráulica da rede de *sprinklers* [KPa/(l/min)^{1,85}]

D – espaçamento entre *sprinklers* coincidente com o espaçamento entre ramais [m]

D_i – diâmetro interno do troço de tubagem [mm]

h – desnível no troço de tubagem [m]

K – constante de escoamento do *sprinkler* [l/min.bar^{1/2}]

$K_{\text{ram crit}}$ – constante de escoamento do ramal crítico [l/min.bar^{1/2}]

L_{eq} – comprimento equivalente total do troço de tubagem [m]

L_{eqlocal} – comprimento equivalente correspondente às perdas de carga localizadas [m]

L_{real} – comprimento real do troço de tubagem [m]

NS – número total de *sprinklers* abastecidos pelo troço de tubagem [adimensional]

NS_{sim} – número de *sprinklers* em funcionamento simultâneo [adimensional]

P – pressão [bar]

P_f – pressão no fim (a jusante) do troço de tubagem [KPa]

P_i – pressão no início (a montante) do troço de tubagem [KPa]

P_{max} – necessidade de pressão da rede de *sprinklers* [KPa]

P_{minS} – pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede [KPa]

P_{total} – necessidade de pressão total na rede de *sprinklers* [KPa]

Q – caudal [l/min]

Q_{4s} – caudal do grupo de 4 *sprinklers* [l/min]

$Q_{\text{acumul a jusante}}$ – caudal acumulado a jusante do troço de tubagem [l/min]

- $Q_{\max}$ – necessidade de caudal da rede *sprinklers* [l/min]
- $Q_{\min S}$ – caudal mínimo necessário por *sprinkler* [l/min]
- Q_{ram} – caudal de cálculo no ramal não crítico [l/min]
- $Q_{\text{ram crít}}$ – caudal de cálculo no ramal crítico [l/min]
- $Q_{\text{sobrecarga}}$ – caudal de sobrecarga ($Q_n \times 1,4$) [l/min]
- $Q_{\text{troço}}$ – caudal no troço de tubagem [l/min]
- Q_1 – caudal de alimentação das redes de 1ª intervenção [l/min]
- Q_2 – caudal de alimentação das redes de 2ª intervenção [l/min]
- Q_C – caudal de alimentação das cortinas de água [l/min]
- Q_H – caudal de alimentação dos hidrantes [l/min]
- Q_K – caudais de outros consumidores não previstos na legislação [l/min]
- Q_n – caudal nominal [l/min]
- Q_S – caudal de serviço do *sprinkler* [l/min]
- Q_{SS} – caudal de alimentação das redes de *sprinklers* [l/min]
- q_{proj} – densidade de projeto [mm/min]
- q_{unit} – densidade de descarga por *sprinkler* [(l/min)/m²]
- $q_{\text{unit.4s}}$ – densidade de descarga do grupo de 4 *sprinklers* [(l/min)/m²]
- S – espaçamento entre *sprinklers* perpendicular ao espaçamento entre ramais [m]
- T_1 – tempo de autonomia das redes de 1ª intervenção [min]
- T_2 – tempo de autonomia das redes de 2ª intervenção [min]
- T_C – tempo de autonomia das cortinas de água [min]
- T_H – tempo de autonomia dos hidrantes [min]
- T_K – tempos de autonomia de outros consumidores não previstos na legislação [min]
- T_S – tempo de autonomia das redes de *sprinklers* [min]
- V – velocidade de escoamento no troço de tubagem [m/s]

2. Acrónimos | Siglas

- AFSS – *Automatic Fire Suppression Systems*
- ANEPC – Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil
- API – *Application Programming Interface*
- APSEI – Associação Portuguesa de Segurança

APTA – Associação de Produtores de Tubos e Acessórios
BIM – *Building Information Modeling*
CBSI – Central de Bombagem de Serviço de Incêndio
CMDA – *Control Mode Density/Area*
CMSA – *Control Mode Specific Application*
CR – Categoria de Risco
DCIM – Densidade de Carga de Incêndio Modificada
DN – Diâmetro nominal
EN – *European Norm*
ESCI – Engenharia de Segurança Contra Incêndios
ESFR – *Early Suppression Fast Response*
EUA – Estados Unidos da América
FM – *Factory Mutual*
FSE – *Fire Safety Engineering*
HH – *High Hazard*
HHP – *High Hazard, Process*
HHS – *High Hazard, Storage*
ID - *Identification*
IPC – *International Plumbing Code*
ISO – *International Organization of Standardization*
LH – *Light Hazard*
LPCB – *Loss Prevention Certification Board*
MEP – *Mechanical, Electrical and Plumbing*
NFPA – *National Fire Protection Association*
NP – Norma Portuguesa
NPSH – *Net Positive Suction Head*
NT – Nota Técnica
OH – *Ordinary Hazard*
OOP – *Object Oriented Programming*
QR – *Quick Response*
RASI – Reservatório de Água para Serviço privativo de Incêndio.
RI – Redes de Incêndio
RJ-SCIE – Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios

RT-SCIE – Regulamento técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios

RTI – *Response Time Index*

SADI – Sistema Automático de Detecção de Incêndio

SAEI – Sistemas Automáticos de Extinção de Incêndio

SCIE – Segurança Contra Incêndios em Edifícios

ST – Configuração de armazenamento

UT – Utilização-tipo

VdS – *Vertrauen durch Sicherheit*

3. Abreviaturas

Calc – Cálculo

Cap – Capítulo

Coef – Coeficiente

Config – Configuração

Dir – Direita

Eq – Equação

Esq – Esquerda

Fig – Figura

1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

Aproximando-se a conclusão do ciclo de estudos, isto é, o mestrado em Engenharia Civil na especialização de Construções, instaura-se a dúvida: a escolha do tema da dissertação.

No setor da Engenharia Civil, observa-se uma crescente adoção de metodologias BIM, oferecendo um vasto espaço para exploração em diversas áreas. O primeiro impulso para a presente dissertação surge a partir do conhecimento e experiência adquiridos com o *software Revit*, reconhecido como uma ferramenta fundamental no contexto BIM.

O segundo impulso é originado pela Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE). Os incêndios representam um dos fenómenos mais perigosos para os edifícios e os seus ocupantes. Contribuir para essa área da engenharia é gratificante, uma vez que desempenha um papel fundamental na redução do risco de acidentes fatais e na salvaguarda da vida humana, que é o bem mais valioso. Nesse contexto, a Engenharia de Segurança Contra Incêndios (ESCI) destaca-se com o objetivo primordial de proteger, exatamente esse bem, a vida humana.

A partir dessa convergência entre BIM e SCIE, surge a exploração dos Sistemas Automáticos de Extinção de Incêndios (SAEI). Esses sistemas desempenham um papel fundamental na deteção e combate a incêndios.

1.2. ENQUADRAMENTO

Os incêndios em edifícios são acontecimentos devastadores que devem ser evitados a todo o custo. Quando as medidas de prevenção falham, em outros termos, as providências tomadas que diminuem a probabilidade de ocorrência de incêndio fracassam, as medidas de proteção incumbem-se de diminuir a gravidade das consequências do incêndio. As redes de *sprinklers* ou SAEI, tema alvo, inserem-se nas medidas de proteção, como meio de intervenção para extinguir/controlar o incêndio.

O correto dimensionamento das redes de *sprinklers* é fundamental para garantir a eficiência e segurança desses sistemas. No entanto, em Portugal, o conhecimento na área dos SAEI é limitado, assim como a aplicação do *software Revit* em conjunto com os SAEI.

O *Revit*, ferramenta que utiliza metodologias BIM, oferece oportunidades para várias vertentes do projeto de edifícios, mas ainda há pouca exploração específica do uso de *sprinklers* nessa plataforma.

Nesse contexto, a programação *Dynamo* no *Revit* destaca-se como uma solução para otimizar o dimensionamento e desenho das redes de *sprinklers*, permitindo uma integração eficiente com outras ferramentas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é desenvolver uma metodologia de desenho e dimensionamento para o projeto de redes de *sprinklers*, utilizando o *software Revit* e técnicas de programação em *Dynamo*, visando a integração entre o BIM e a Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE), em conformidade com o referencial normativo selecionado para o projeto, seja a regulamentação portuguesa ou a norma europeia.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da presente dissertação são os seguintes:

- Compreender fenómenos e conceitos relacionados com o fogo e incêndios;
- Explorar os *sprinklers*, redes de *sprinklers*, regulamentação portuguesa no âmbito da SCIE e dimensionamento de SAEI, segundo a regulamentação portuguesa e segundo a norma europeia;
- Estudar os fluxos de trabalho e compreender o funcionamento do *software Revit* e das linguagens de programação *Dynamo* e *Python*, assim como explorar ferramentas disponíveis no/para *Revit*, de forma a auxiliar no projeto de redes de *sprinklers*, identificando, neste contexto, as melhores práticas;
- Formular um procedimento de dimensionamento das redes de *sprinklers*, considerando as diretrizes da regulamentação portuguesa e da norma europeia;
- Desenvolver um modelo inovador de otimização, utilizando a programação *Dynamo* para o desenho e dimensionamento das redes de *sprinklers*;
- Elaborar uma proposta de medidas orientadoras para implementação de SAEI em edifícios;
- Aplicar o modelo de otimização a um estudo de caso real, comparando diferentes cenários quanto à configuração (em pente e em árvore) e ao referencial normativo (regulamentação portuguesa e da norma europeia);
- Analisar e avaliar o impacto das diferentes configurações e referenciais normativos nos resultados do dimensionamento.

1.4. METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta dissertação materializa-se no desenvolvimento consecutivo das seguintes atividades:

1. **Revisão bibliográfica:** foi realizada uma revisão abrangente da regulamentação de SCIE e das diretrizes relacionadas com as redes de *sprinklers*. Além disso, foi feita uma revisão da literatura sobre BIM com foco na integração com os SAEI;

2. **Estudo de conceitos de cálculo hidráulico:** uma pesquisa detalhada foi conduzida para compreender os conceitos e princípios relacionados com o cálculo hidráulico, essenciais para o dimensionamento adequado de redes de *sprinklers*;
3. **Utilização de referenciais normativos:** foram utilizados dois referenciais normativos principais, o regulamento português de SCIE e a norma europeia, para orientar o dimensionamento das redes de *sprinklers*. Esses documentos foram consultados para estabelecer os critérios e requisitos a serem considerados em projetos;
4. **Dimensionamento utilizando a folha de cálculo da APTA:** a folha de cálculo fornecida pela Associação de Produtores de Tubos e Acessórios foi empregue como ferramenta para o dimensionamento das redes de *sprinklers*, utilizando os métodos de cálculo recomendados pelos referenciais normativos;
5. **Utilização do software Revit:** o *software Revit* foi selecionado como plataforma para desenvolver e implementar o modelo de otimização proposto. As suas funcionalidades e recursos foram explorados para permitir a integração do dimensionamento das redes de *sprinklers* com os modelos BIM dos edifícios, nos quais é necessário a instalação destas redes;
6. **Desenvolvimento do modelo de otimização:** utilizando as linguagens de programação *Dynamo* e *Python*, juntamente com a utilização da API do *Revit* e extensões do *software*, foram desenvolvidos algoritmos e técnicas para criar um modelo de otimização inovador. Esse modelo permitiu o desenho e dimensionamento otimizado das redes de *sprinklers*, levando em consideração os requisitos dos referenciais normativos adotados;
7. **Aplicação do modelo a um estudo de caso:** o modelo de otimização desenvolvido foi aplicado a um estudo de caso real. Diferentes cenários de configuração de redes de *sprinklers* foram considerados, permitindo comparar os resultados obtidos, de acordo com a regulamentação portuguesa e a norma europeia.

1.5. ESTRUTURA

A presente dissertação divide-se em 8 capítulos e exprime o seguinte desencadeamento:

- Capítulo 1 – Introdução;
- Capítulo 2 – Estado da arte: SCIE (Segurança Contra Incêndios em Edifícios);
- Capítulo 3 – Estado da arte: BIM (*Building Information Modeling*);
- Capítulo 4 – Dimensionamento de SAEI (Sistemas Automáticos de Extinção de Incêndio);
- Capítulo 5 – Modelo de otimização de SAEI em *Dynamo*;
- Capítulo 6 – Estudo de caso;
- Capítulo 7 – Conclusões.

No presente capítulo de introdução, é contextualizado o âmbito da investigação, são traçados os objetivos deste estudo e definida a estrutura do documento, assim como a metodologia utilizada.

No segundo capítulo, é realizado um enquadramento inicial com conceitos importantes sobre os fenómenos do fogo e do incêndio, bem como os mecanismos utilizados na sua extinção. Nesta fase, também são abordados os princípios da SCIE, incluindo a regulamentação portuguesa, desde os conceitos fundamentais até à definição das situações em que é necessário instalar redes de *sprinklers*. Também é compreendido o papel dos SAEI, assim como a definição, composição e tipologia dos *sprinklers* e das suas redes, definindo as vantagens e desvantagens de utilização desses sistemas.

Posteriormente, é apresentada uma síntese dos critérios de concepção de redes de *sprinklers*, inicialmente de acordo com a regulamentação portuguesa e, em seguida, com base na norma europeia.

No terceiro capítulo, são introduzidos os principais *softwares* para o desenvolvimento do modelo de otimização, o *Revit* e o *Dynamo*, esclarecendo-se os seus fluxos de trabalho, assim como uma breve exposição da linguagem de programação *Python*, também importante na concepção do modelo. São, ainda, expostas ferramentas do/para *Revit* que contribuem para potencializar o *software*.

No quarto capítulo, com base na revisão bibliográfica e no conhecimento adquirido sobre as normas e regulamentações, é formulado um procedimento de dimensionamento das redes de *sprinklers*, considerando as diretrizes da regulamentação portuguesa e da norma europeia. A folha de cálculo da APTA (Associação de Produtores de Tubos e Acessórios), destinada a dimensionar redes de *sprinklers*, é utilizada no modelo de otimização desenvolvido, utilizando esses métodos de cálculo.

No quinto capítulo, o capítulo mais importante do trabalho, é utilizada a programação *Dynamo* e outras ferramentas para o desenvolvimento de um modelo inovador de desenho e dimensionamento de redes de *sprinklers*, aplicável a qualquer edifício, seguindo as prescrições da regulamentação portuguesa ou da norma europeia, dependendo do referencial normativo escolhido para o projeto. Nesse capítulo, também são definidas medidas orientadoras para a implementação de SAEI em edifícios.

No sexto capítulo, é realizada a caracterização do edifício no qual é aplicado o modelo de otimização desenvolvido e define-se, também, o seu risco segundo os dois referenciais normativos aplicáveis. Posteriormente, o modelo é aplicado ao estudo de caso real, aproveitando-se a sua eficiência para estudar situações diferentes. São considerados diferentes cenários de configuração (em pente e em árvore) e diferentes referenciais normativos (regulamentação portuguesa e norma europeia). Além disso, os resultados obtidos são comparados e analisados.

No sétimo capítulo, são refletidos os resultados do trabalho em relação aos objetivos propostos e à literatura existente. A conclusão é apresentada, resumindo os principais resultados obtidos e destacando a contribuição desta pesquisa para o campo dos SAEI. Por fim, são destacadas possíveis melhorias e áreas de pesquisa futura.

2

ESTADO DA ARTE: SCIE

2.1. ENQUADRAMENTO: DO FOGO AOS SAEI

2.1.1. O FOGO

Em 2.1.1, aborda-se o tema do fogo, expondo-se uma definição clara e explorando conceitos fundamentais. Esses conceitos são essenciais para estabelecer um encadeamento lógico na abordagem de 2.1.2: "O incêndio". Já em 2.1.3, apresentam-se conceitos importantes sobre a extinção de incêndios, a fim de fornecer uma explicação mais completa do assunto. E em 2.1.4, faz-se um enquadramento regulamentar desde os princípios gerais até à prescrição da instalação de redes de *sprinklers*. Pretende-se, com estes quatro subcapítulos, expor os aspetos mais relevantes que precedem a abordagem aos SAEI (Sistemas Automáticos de Extinção de Incêndios).

Segundo a NP 3874 [1], o fogo é a combustão caracterizada por uma emissão de calor acompanhada de fumo ou de chama ou de ambos. Este só existe se ocorrer primeiro a combustão, ou melhor, a reação exotérmica de uma substância combustível com um comburente.

O combustível é o material com suscetibilidade para arder (como madeira, propano, gasolina, etc.) e o comburente é o componente complementar que permite a reação, através de uma associação química, juntos, resultam na oxidação ou combustão (o oxigénio é o comburente mais comum nestas reações).

Pode existir a permanência conjunta dos dois componentes da combustão, o combustível e o comburente, no entanto, tal não é, por si só, suficiente para existir fogo. É necessária uma energia de ativação (por ex. uma faísca, ou um raio), condição *sine qua non*, para que uma reação aconteça no combustível. Assim se forma o triângulo do fogo como se verifica na Figura 1.



Fig. 1 - Triângulo do fogo. Fig. do Autor.

A energia de ativação é a fonte externa de energia, em forma de calor, que promove uma ascensão térmica do combustível. O triângulo do fogo indica, por conseguinte, os elementos necessários para existir combustão.

Falta, ainda, um fator que faça compreender melhor o fenómeno do incêndio e a sua continuidade no tempo e no espaço. Quando a combustão acontece e se alastra para materiais combustíveis vizinhos, existe o contributo de uma nova condição, a reação em cadeia. Se se adicionar a reação em cadeia aos demais elementos do triângulo previamente mencionado, o tetraedro do fogo é estabelecido (Figura 2).



Fig. 2 - Tetraedro do fogo. Adaptado de [2].

É importante perceber que os fogos têm origem na combustão de diferentes materiais que, por sua vez, têm diferentes formas de extinção. Estas serão abordadas mais adiante. A NP EN 2:1992 [3] distingue quatro tipos de fogos consoante a natureza do material combustível:

- Classe A: Fogos resultantes da combustão de materiais sólidos;
- Classe B: Fogos resultantes da combustão de líquidos ou sólidos liquidificáveis;
- Classe C: Fogos resultantes da combustão de gases;
- Classe D: Fogos resultantes da combustão de metais.

Considera-se, em complemento das restantes, desde 2005 (NP EN2:1993/A1 2005 [4]), a classe F: fogos associados a produtos de cozinha. Tal como está apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classes de fogos. Adaptado de [5].

CLASSES DE FOGOS	
A. FOGOS ENVOLVENDO SÓLIDOS. EX: MADEIRA, PAPEL, TEXTÉIS, PVC, ETC	
B. FOGOS ENVOLVENDO LÍQUIDOS. EX: GASOLINA, ÓLEO, ÁLCOOL, GORDURA, SOLVENTES, ETC	
C. FOGOS ENVOLVENDO GASES. EX: BUTANO, PROPANO, ACETILENO, ETC	
D. FOGOS QUE RESULTAM DA COMBUSTÃO DE METAIS. EX: SÓDIO, POTÁSSIO, MAGNÉSIO, ETC	
F. FOGOS ENVOLVENDO PRODUTOS PARA COZINHAR EM APARELHAGEM DE COZINHA.	

Em acréscimo a esta matéria do fogo, para se poder seguir um encadeamento lógico, é relevante compreender que, da combustão resultam certos produtos: o calor, a chama, os gases, os óxidos, os fumos (partículas de carbono que não sofreram combustão e outras em suspensão) e as cinzas (substâncias minerais) [6] (Figura 3). Curiosamente, durante a ocorrência de um incêndio ocorrem mais mortes por inalação de fumos do que, por contacto direto com o fogo.

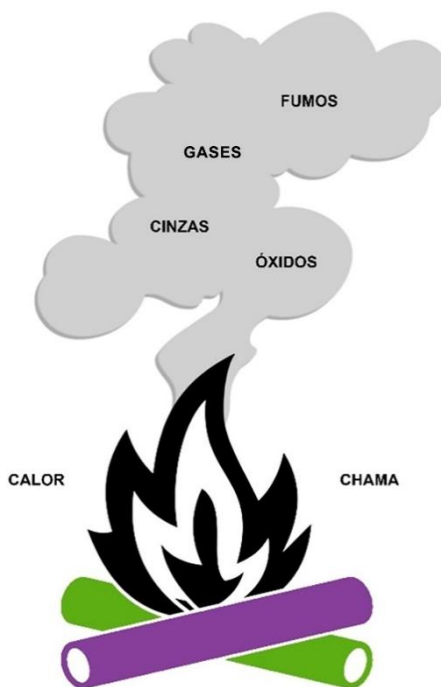


Fig. 3 - Produtos de combustão. Fig. do Autor.

Alguns na pré-história, o Homem presenciou os primeiros fogos que ocorriam naturalmente, consequentes de, por exemplo, erupções vulcânicas, relâmpagos ou combustão espontânea de vegetação exposta à radiação. Rapidamente, devido ao seu amplo campo de utilização (iluminar, afastar predadores, cozinhar, etc.), o fogo foi captado. No início, este era transportado e mantido e, mais tarde, surge o domínio de técnicas para a sua produção. Com o fim do nomadismo, apareceram os primeiros acampamentos e o fogo começou a estar presente nos seus interiores e imediações. A falha no controlo do fogo impulsionou os primeiros incêndios.

2.1.2. O INCÊNDIO

O incêndio é, assim, a combustão incontrolada e autossustentada que se desenvolve descontroladamente no espaço e no tempo, provocando danos [1, 7]. Gomes [8] diz que o Homem se apercebeu que os benefícios do fogo eram anulados e que o mais sensato seria apagá-lo antes que fossem causados grandes estragos. Surgiu, desta forma, a necessidade de combater o incêndio.

Conhecem-se, agora, alguns dos conceitos basilares no estudo do fogo e percebe-se como este foi útil para o ser humano ao longo da sua história. Entende-se, também, o aparecimento dos incêndios nos acampamentos (e mais tarde nos edifícios). Falta saber, antes de se abordar a SCIE (Segurança Contra Incêndio em Edifícios), como os incêndios se desenvolvem nos edifícios e nos seus compartimentos e quais os seus efeitos.

Primeiramente, de forma a melhor compreender a propagação de um incêndio, é necessário perceber os processos de transmissão do calor, um dos produtos de combustão referidos anteriormente. É fundamental a compreensão do desenvolvimento do incêndio, para melhor saber como atuar perante o mesmo e, também, porque há exigências regulamentares impostas aos materiais de construção no que diz respeito ao comportamento dos mesmos face ao fogo, em termos de contributo da sua degradação para o início e/ou desenvolvimento do incêndio e da conservação das suas propriedades no decorrer deste fenómeno. Sabendo como se sucede a transferência de calor, a compreensão do desenvolvimento do incêndio torna-se mais simples. A condução, a convecção e a radiação são, então, as três formas de transmitir calor, como se pode observar na Figura 4. Podem definir-se, de acordo com M. Chichorro [6] e L. Coelho [9], da seguinte forma:

- **Condução:** Existindo um gradiente de temperaturas num meio estacionário (sólido, líquido ou gasoso), a transferência de calor ocorre por aquecimento ou contacto, das partes quentes para as partes frias. É o principal modo de transferência de calor em sólidos e fluídos;
- **Convecção:** Modo de transmissão no interior de um fluído ou entre este e uma superfície sólida, na qual o calor, através do movimento do fluído, é transferido. É importante na propagação de incêndios (transporta a energia libertada pelo movimento de gases quentes);
- **Radiação:** Forma de transmitir calor entre corpos sem a necessidade de qualquer suporte material, em que o calor emitido ou absorvido é transmitido por radiação eletromagnética. A troca de energia entre as superfícies envolvidas e a emissão e absorção por gases e fuligem têm um papel importante na propagação de incêndios.

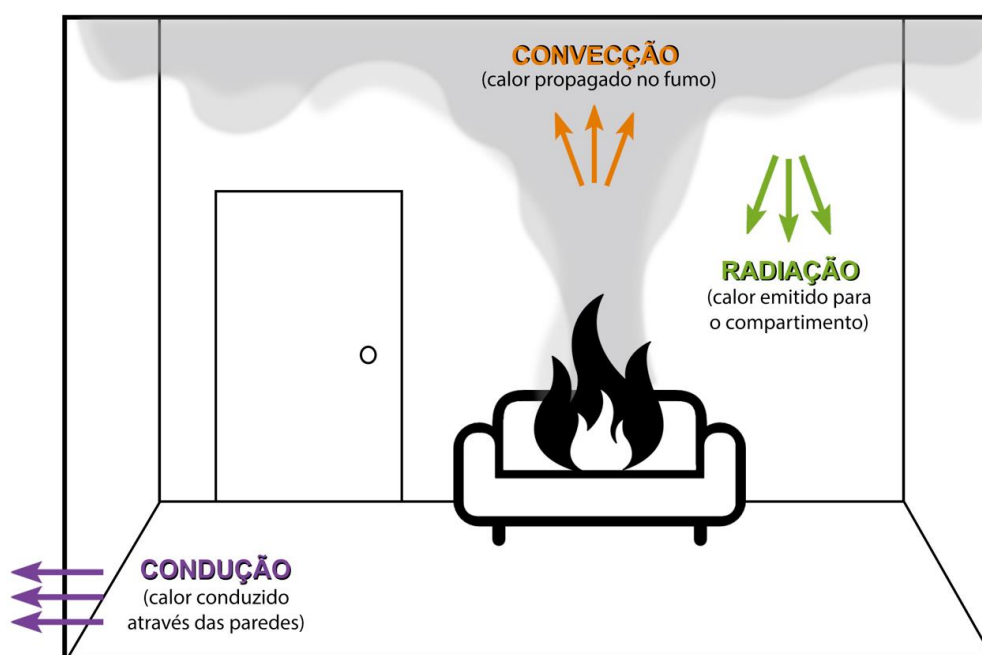


Fig. 4 - Formas de transmissão do calor. Adaptado de [10].

É, também, conveniente expor a temática do desenvolvimento de incêndios. Sabe-se, visto que se abordou previamente, que estes só existem se estiverem presentes os quatro fatores do tetraedro do fogo (combustível, comburente, energia de ativação e reação em cadeia). Prever a evolução de um incêndio é de extrema dificuldade, dado que este é bastante aleatório, mas muito importante para a ESCI

(Engenharia de Segurança Contra Incêndios). Várias vertentes de SCIE têm em conta os estágios do incêndio (por ex.: evacuação, resistência ao fogo, etc.). Este depende principalmente do tipo, quantidade e disposição do combustível, assim como das condições de ventilação. Pode-se, assim, definir as cinco seguintes fases do desenvolvimento natural de um incêndio [6, 9, 11]:

- **Ignição** – Momento em que ocorre a primeira combustão. É o início do incêndio. Pode ter origem térmica, elétrica, mecânica ou química;
- **Propagação** – Crescimento inicial do fogo, em função do combustível presente, com pouca influência do compartimento. Nesta fase pode haver extinção do incêndio por falta de combustível ou comburente, mas, se houver presença suficiente destes, haverá aumento da temperatura interior do compartimento e ignição dos materiais vizinhos (que ainda não tinham entrado em combustão). O fogo é controlado, então, pelo combustível;
- **Flashover** ou **combustão generalizada** – Transição de um incêndio em crescimento para a combustão generalizada (fogo em regime estacionário), onde toda a matéria combustível se encontra a arder e a concentração de gases aumenta. Estima-se que o *flashover* ocorre na ordem dos 500-600 °C;
- **Desenvolvimento** – Fase com maior libertação de calor e temperaturas mais elevadas. O fogo é influenciado pelas condições do compartimento e materiais de construção, dimensões e forma de aberturas, e tipo e disposição do combustível. Neste caso o fogo é controlado pela ventilação;
- **Declínio** ou **extinção** – Esgotamento do combustível pela combustão e declínio da libertação de calor e da temperatura. Nesta fase, há controlo do incêndio por via do combustível.

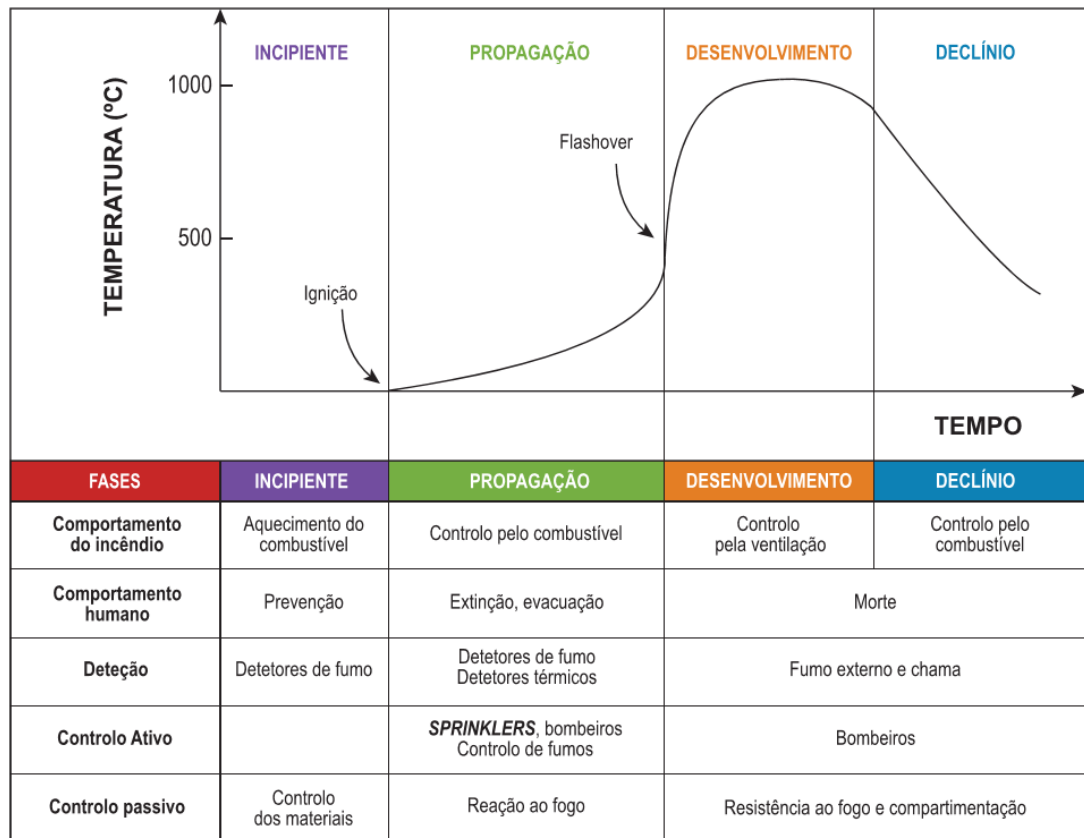


Fig. 5 - curva de incêndio natural. Adaptado de [10, 12].

Apesar de muitos incêndios não seguirem este processo, é uma forma estilizada que permite refletir sobre os incêndios em compartimento. Todos os incêndios têm início com a ignição, mas podem falhar na fase de propagação. Podem extinguir-se por falta de oxigénio ou combustível ou podem, ainda, sofrer intervenção manual ou automática, como é o caso dos *sprinklers*, suprimindo o resto das fases.

2.1.3. MECANISMOS E AGENTES DE EXTINÇÃO

Pode perspetivar-se a SCIE em duas vertentes: a prevenção e a proteção. As medidas de prevenção são implementadas para reduzir a probabilidade de ocorrência de incêndio, por exemplo, a formação de manuseamento de materiais combustíveis. Por sua vez, as medidas de proteção reduzem os danos que advêm devido ao incêndio, protegendo a vida humana e bens materiais, logo são medidas ativadas *a posteriori* do início do incêndio. A extinção e meios associados inserem-se na proteção. Para haver maior precisão, inserem-se na proteção ativa.

A proteção pode ser ativa se existirem equipamentos e intervenção de pessoas como a deteção ou os meios de extinção. A proteção pode ser passiva se consistir, por exemplo, na utilização de materiais de construção de boa performance face ao fogo ou na conceção arquitetónica favorável à evacuação, dado que não necessita de intervenção humana ou equipamentos.

A extinção de incêndios pode consumir-se com recurso à utilização de um ou vários processos de extinção. Existem os seguintes quatro mecanismos (Figura 6) [2, 13]:

- **Carência** – Eliminação ou redução do combustível. É teoricamente o método com maior eficácia, mas, em geral, a dificuldade da sua execução impossibilita a sua aplicação;
- **Limitação do comburente** – Por asfixia: a quantidade de comburente reduz devido ao seu consumo na combustão, em condições em que não há renovação de ar. Por abafamento: eliminação ou redução do comburente por ação exterior à combustão;
- **Arrefecimento** – Redução da temperatura para diminuir a energia de ativação, bem como diminuição da temperatura do próprio combustível e libertação de vapores. É o método mais utilizado pelos bombeiros;
- **Inibição** – Ruptura da reação em cadeia, que consiste em cancelar a transmissão de calor entre materiais combustíveis. Pode utilizar-se este método com recurso à alteração da composição química da chama, impedindo a sua formação e diminuindo, assim, a energia de ativação.

Conhecem-se, então, os processos de extinção, a partir dos quais as substâncias utilizadas para a extinção do incêndio, os agentes extintores, exercem o seu propósito (terminar ou reduzir o incêndio). A seleção destes está interligada com as classes de fogo, dado que as suas performances variam consoante a natureza do combustível.

A água foi o primeiro agente extintor utilizado, certamente pela facilidade em obtê-la. É ainda o mais usado, principalmente devido à sua elevada disponibilidade e baixo custo, sendo de fácil armazenamento, transporte e aplicação.



Fig. 6 - mecanismos de extinção. Adaptado de [14].

Não se pretende detalhar ou decompor cada um destes agentes, contudo interessa, sim, perceber o essencial, ou seja, entender para que classes de fogo podem ser utilizados os agentes e, posteriormente, a sua associação com os SAEI. Segue-se um quadro síntese (Quadro 2), elaborado com o auxílio da NP 1800:2012 [15], relacionando agentes com mecanismos de extinção e classes de fogo.

Quadro 2 - Agentes extintores e classes de fogos. Quadro do Autor.

Agente Extintor	Classe de fogos	Mecanismo de extinção principal
Água (jato)	A	Arrefecimento
Água (pulverizada)	A, B	Arrefecimento
Água nebulizada	A, B	Arrefecimento
Água com aditivo	A, B	Arrefecimento
Espumas	A, B	Abafamento
Pó químico ABC	A, B, C	Inibição
Pó químico BC	B, C	Inibição
Pó químico D	D	Abafamento
HFC's (hidrofluorcarbonetos)	A, B, C	Abafamento
Gases inertes	A, B, C	Abafamento
Agente químico húmido	F	Abafamento
CO ₂ (dióxido de carbono)	A*, B, C	Abafamento
Manta ignífuga	F	Abafamento

A* - Apenas pequenas superfícies.

Os SAEI recorrem, normalmente, à utilização de água pulverizada de forma a combater o incêndio, por via do arrefecimento, podendo utilizar água com aditivos, água nebulizada e outros agentes extintores. Adiante são abordados com mais detalhe.

2.1.4. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS

2.1.4.1. Princípios gerais

Conectem-se, então, os conceitos teóricos anteriores com a regulamentação portuguesa contemporânea.

O RJ-SCIE [16], assim como a NP ISO 23932 [17], estabelecem os seguintes princípios:

- Salvaguarda da vida humana;
- Proteção de bens;
- Continuidade da vida;
- Proteção do meio ambiente;
- Preservação do património.

Tendo em vista o cumprimento destes princípios, seguem-se as seguintes diretrizes:

- Reduzir a probabilidade de ocorrência de incêndios;
- Limitar o desenvolvimento de eventuais incêndios, circunscrevendo e minimizando os seus efeitos, nomeadamente a propagação do fumo e gases de combustão;
- Facilitar a evacuação e o salvamento dos ocupantes em risco;
- Permitir a intervenção eficaz e segura dos meios de socorro.

Apresentam-se nos parágrafos seguintes os conceitos base da regulamentação Portuguesa de SCI.

2.1.4.2. Utilizações-tipo

Na abordagem inicial ao projeto de SCIE, é necessário, primeiro, proceder à caracterização do edifício ou recinto. O RJ-SCIE [16] distingue os espaços por categoria de ocupação, ao que nomeia utilização-tipo (UT). O regulamento determina doze UT's, podendo um edifício compreender mais que uma.

Quadro 3 - Utilizações-tipo de edifícios e recintos. Quadro do Autor.

UT	Designação
I	Habitacionais
II	Estacionamento
III	Administrativos
IV	Escolares
V	Hospitais e Lares de idosos
VI	Espectáculos e reuniões públicas
VII	Hoteleiros e Restauração
VIII	Comerciais e Gares de transporte
IX	Desportivos e Lazer
X	Museus e Galerias de arte
XI	Bibliotecas e arquivos
XII	Indústrias, Oficinas e Armazéns

2.1.4.3. Locais de Risco

Todos os locais dos edifícios e dos recintos, com exceção dos espaços interiores de cada fogo, das vias de evacuação e dos espaços ao ar livre, são classificados conforme a natureza do risco [16]. Sinteticamente, essa classificação é feita da seguinte forma:

- **Local de risco A** – Local que não apresenta riscos especiais, com um efetivo baixo;
- **Local de risco B** – Local acessível a público ou a pessoal afeto ao estabelecimento, com efetivo elevado;
- **Local de risco C** – Local que apresenta riscos particulares agravados de eclosão e de desenvolvimento de incêndio, devido quer às atividades nele desenvolvidas quer às características dos produtos, materiais ou equipamentos nele existentes, designadamente à carga de incêndio modificada, à potência útil e à quantidade de líquidos inflamáveis e, ainda, ao volume dos compartimentos. Sempre que o local de risco C se encontre em determinadas condições especificadas no RJ-SCIE [16], mais agravantes que as do local de risco C, designa-se como local de risco C agravado;
- **Local de risco D** – Local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou destinado a receber crianças com idade não superior a 3 anos ou pessoas limitadas na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme;
- **Local de risco E** – Local de um estabelecimento destinado a dormida, em que as pessoas não apresentem as limitações indicadas nos locais de risco D;
- **Local de risco F** – Local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes, nomeadamente centros nevralgicos de comunicação, comando e controlo.

2.1.4.4. Categorias de risco

O risco de incêndio das utilizações-tipo é classificado em quatro níveis (1 – risco reduzido, 2 – risco moderado, 3 – risco elevado, 4 – risco muito elevado). Atendendo a diversos fatores de risco, esse nível corresponde à categoria de risco (CR). À medida que o nível da CR aumenta, aumentam também as exigências de segurança. Os fatores condicionantes de risco em edifícios são:

1. Altura máxima da utilização-tipo (H);
2. Número de pisos ocupados abaixo do plano de referência;
3. Área bruta ocupada pela UT;
4. Efetivo total;
5. Efetivo em local de risco D ou E;
6. Saída direta para o exterior em locais tipo D ou E;
7. UT é um espaço coberto ou ao ar livre;
8. Densidade de carga de incêndio modificada.

No Quadro 4, estão representados os fatores de risco aplicáveis às diferentes UT's, para efeitos de classificação do risco. Os fatores de risco apresentam-se numerados na tabela de acordo com a listagem anterior.

Quadro 4 - Fatores de risco. Adaptado de [18].

UT	Designação	1	2	3	4	5	6	7	8
I	Habitacionais	•	•						
II	Estacionamento	•	•	•				•	
III	Administrativos	•			•				
IV	Escolares	•			•	•	•		
V	Hospitais e Lares de idosos	•			•	•	•		
VI	Espectáculos e reuniões públicas	•	•		•			•	
VII	Hoteleiros e Restauração	•			•	•	•		
VIII	Comerciais e Gares de transporte	•	•		•				
IX	Desportivos e Lazer	•	•		•			•	
X	Museus e Galerias de arte	•			•				
XI	Bibliotecas e arquivos	•	•		•				•
XII	Indústrias, Oficinas e Armazéns		•					•	•

Após a identificação dos fatores de risco, é necessário recorrer a quadros presentes no regulamento (RJ-SCIE [16], Anexo III) que auxiliam o processo de identificação da CR. A categoria do risco do edifício ou recinto corresponde ao nível mais baixo que satisfaça integralmente os critérios indicados nos quadros do RJ-SCIE [16].

2.1.4.5. Meios de intervenção

Após a identificação das utilizações-tipo, locais de risco e categorias de risco, baseando-se sobretudo no RJ-SCIE [16] mas também no RT-SCIE (Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios) [19], aplicam-se as prescrições técnicas de SCIE do RT-SCIE [19] que estabelecem as condições que devem ser respeitadas pelos projetos de arquitetura e das diversas especialidades incluindo SCIE, nomeadamente nos seguintes títulos:

- Condições exteriores comuns;
- Condições de comportamento ao fogo, isolamento e proteção;
- Condições de evacuação;
- Condições das instalações técnicas;
- Condições dos equipamentos e sistemas de segurança;
- Condições de autoproteção (em fase de uso do edifício).

Os *sprinklers* inserem-se nas condições dos equipamentos e sistemas de segurança, no capítulo V: “Meios de intervenção”.

É essencial num edifício existirem meios próprios para combater o fogo, permitindo a imediata atuação sobre focos de incêndio. Estes podem ser manuais ou automáticos. Os meios manuais compreendem meios de primeira intervenção e meios de segunda intervenção. A primeira intervenção está associada à ação dos ocupantes do edifício, face a uma fase inicial do incêndio, e a segunda intervenção está interligada com a atuação dos bombeiros, numa fase posterior.

Exemplos de meios de primeira intervenção são apresentados pela sua simbologia na Figura 7: extintor, rede de incêndio armada com boca de incêndio do tipo carretel e manta ignífuga.



Fig. 7 - Sinalização de alguns meios de 1ª intervenção [20].

Exemplos de meios de segunda intervenção são apresentados pela sua simbologia na Figura 8: conjunto de equipamento de combate a incêndios, união siamesa e boca de incêndio coluna seca. Além dos apresentados existem outros meios como: redes não armadas secas e húmidas, e redes armadas com bocas de incêndio do tipo teatro.



Fig. 8 - Sinalização de alguns meios de 2ª intervenção [20, 21].

Quanto aos meios automáticos, onde se integram os *sprinklers*, existem sistemas de extinção por água ou por outros agentes extintores, como agentes espumíferos, pó químico seco e gases inertes, Figura 9.



Fig. 9 - Sinalização de *sprinklers* [21].

2.1.4.6. Prescrição regulamentar de instalação de SAEI

No Quadro 5, são apresentadas as condições de exigência de instalação de sistemas fixos de extinção automática por água previstas no RT-SCIE [19]. A estas acrescentam-se: os locais adjacentes a pátios interiores cuja altura seja superior a vinte metros; os locais considerados de difícil acesso e elevada carga de incêndio; as caixas de palco com área não superior a 50 m² de espaços cénicos isoláveis e os subpalcos, independentemente da sua área (devem ser instalados *sprinklers* do tipo normal húmido), afetos à UT VI (Espetáculos e reuniões públicas); as zonas destinadas a pintura ou aplicação de vernizes, colas ou solventes orgânicos com ponto de inflamação inferior a 55 °C, em espaços de edifícios com área superior a 30 m², afetos à UT XII (indústrias, oficinas e armazéns).

Quadro 5 - Necessidade de implementação de *sprinklers*. Quadro do Autor.

UT	Descrição	CR	<i>Sprinklers</i>
I	Habitacionais	3,4	Não
II	Estacionamentos*	3,4	Sim
III	Administrativos	3,4	Sim
IV	Escolares	3,4	Não
V	Hospitais e Lares de idosos	3,4	Não
VI	Espetáculos e reuniões públicas	3,4	Sim
VII	Hoteleiros e Restauração	3,4	Sim
VIII	Comerciais e Gares de transporte**	3,4	Sim
IX	Desportivos e Lazer	3,4	Não
X	Museus e Galerias de arte	3,4	Não
XI	Bibliotecas e arquivos	3,4	Não
XII	Indústrias, Oficinas e Armazéns	3,4	Sim

* com um ou mais pisos abaixo do plano de referência

** disposições específicas

Em suma, os *sprinklers* são meios de intervenção automáticos que podem utilizar vários agentes extintores, sendo a água o mais comum. O principal efeito de aplicação da água, na extinção de incêndios, é o arrefecimento, tanto mais eficaz quanto mais pulverizada for a água e quanto mais o incêndio se desenvolva com baixa potência (fase inicial) [22]. Está prescrita pelo RT-SCIE a obrigatoriedade de utilização de *sprinklers* para seis UT's (estacionamentos, administrativos, espetáculos e reuniões públicas, hoteleiros e restauração, comerciais e gares de transporte e indústrias, oficinas e armazéns), quando a categoria de risco é superior a dois (assinalado a cinzento no Quadro 5). Não obstante, estes sistemas podem ser incorporados em edifícios sem que o regulamento obrigue a isso, como medidas compensatórias ou para que seja assegurada uma maior proteção.

Pode dizer-se, então, que está consolidada a explicação da importância da utilização de *sprinklers*.

É o momento de avançar e compreender o que são os SAEI, a sua constituição e o seu modo de operação.

2.2. SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE EXTINÇÃO DE INCÊNDIOS

2.2.1. SPRINKLERS: DEFINIÇÃO E CONSTITUIÇÃO

O primeiro registo do uso automático de água para a extinção de incêndios data de 1723. Ambrose Godfrey concebeu um sistema que utilizava um recipiente de couro cheio de água completamente fechado. Nele colocava um cartucho de pólvora e um fio fusível. O dispositivo era arremessado para o fogo, sendo o fio fusível queimado. Assim, a pólvora era atingida, o que rebentava o recipiente, espalhando água para o incêndio.

Posteriormente, a utilização de tubagem perfurada, com materiais nos orifícios que se desintegravam na presença de temperaturas elevadas, foi implementada. Este sistema era montado em altura e, quando os orifícios ficavam livres, a água era expelida pelos furos dos tubos combatendo, assim, o incêndio. Mais à frente, surgiram as primeiras cabeças aspersoras de água, cobertas com uma liga de solda, que fundiam a elevadas temperaturas: os primeiros *sprinklers*.

A evolução destes mecanismos resulta na tecnologia moderna de SAEI que é utilizada nos dias de hoje.

Um *sprinkler* é, então, citando a NP 3874-4 [23] *ipsis verbis*, um dispositivo sensível ao calor, concebido para reagir a uma temperatura pré-determinada, libertando automaticamente um fluxo de água repartido uniformemente, ao nível do solo, com forma, quantidade e área a irrigar devidamente especificadas. *Data vénia*, não é a melhor forma de definir um *sprinkler*, uma vez que não é uma caracterização inclusiva. Porém, é uma caracterização inicial interessante para abordar o assunto. Mais adiante, são abordados os vários tipos de *sprinklers* e os seus sistemas.

O *sprinkler* tradicional é constituído, como se vê na Figura 10, por: orifício calibrado de descarga, rosca de fixação à tubagem, vedante, braços de suporte, elemento termossensível (ampola de vidro) e defletor.



Fig. 10 - Elementos constituintes de um *sprinkler*. Fig. do Autor.

Pode tipificar-se os *sprinklers* segundo várias características: elemento termossensível, temperatura de ativação, tempo de resposta, área de cobertura e padrão de descarga, coeficiente de descarga “K”, orientação da instalação, condições especiais de uso e tecnologias recentes.

2.2.2. TIPOLOGIA DE SPRINKLERS

2.2.2.1. Elemento termossensível

Os elementos termicamente sensíveis presentes nos *sprinklers* podem ser de dois tipos (Figura 11):

- **Ampola de vidro** – Na presença de temperaturas pré-determinadas, quebra devido à dilatação do líquido no seu interior, e na sequência da rutura da ampola, inicia-se a libertação de água;
- **Fusível térmico** – Na presença de temperaturas pré-determinadas, funde a liga metálica fusível que mantém o orifício de descarga vedado, resultando na libertação de água.



Fig. 11 - *Sprinkler* de ampola de vidro (esq.) e *sprinkler* de fusível térmico (dir.) [24].

2.2.2.2. Temperatura de ativação

Os *sprinklers* diferem no que diz respeito à temperatura de atuação. Estes devem ser selecionados com uma temperatura acrescida de, pelo menos, 30 °C acima da temperatura ambiente máxima expectável. Em condições normais, nos climas temperados, a opção incide entre os 68 e os 79.°C.

Existe um código de cores normalizado correspondente à temperatura de ativação. No Quadro 6, estão presentes as temperaturas de atuação dos *sprinklers* de ampola e de fusível e as suas cores condizentes.

Quadro 6 - Código de cores por temperatura de operação. Adaptado de [25, 26].

Sprinklers de ampola		Sprinklers termo fusível	
Temperatura nominal de operação °C	Código de cor líquido	Temperatura nominal de operação °C	Código de cores dos braços do defletor
57	Laranja 	57 a 77	Incolor
68	Vermelho 	80 a 107	Branco ○
79	Amarelo 	121 a 149	Azul ●
93, 100	Verde 	163 a 191	Vermelho ●
121, 141	Azul 	204 a 246	Verde ●
163, 182	Malva 	260 a 302	Laranja ●
204, 227, 260, 286, 343	Preto 	320 a 343	Preto ●

2.2.2.3. Tempo de resposta

Relacionada com a temperatura de ativação, surge a sensibilidade térmica. O tempo de resposta indica a velocidade com que o elemento sensível aciona perante a temperatura de atuação. Existe o RTI (*Response Time Index*), em português “Índice de Tempo de Resposta”, que permite medir a velocidade de reação. O RTI depende do calor específico, massa e superfície do elemento sensível, do coeficiente de transferência de calor, e pode, também, ser afetado pela tubagem em contacto com os *sprinklers*. Estes podem ser classificados em três tipos:

- **Resposta rápida** – $RTI < 50$;
- **Resposta normal** – $RTI < 80$;
- **Resposta especial** – $50 < RTI < 80$.

É importante clarificar dois termos da língua inglesa bastante utilizados: “*fast response*” e “*quick response*”. Os *sprinklers* de *quick response* estão incluídos nos *sprinklers* de *fast response*. Será mais perspicaz pensar no termo *fast* para os elementos termicamente sensíveis e associar o termo *quick* para os *sprinklers*, de forma a simplificar a sua distinção.

Existem três tipos de *sprinklers* de resposta rápida (Figura 12): os QR (*Quick Response*), os ESFR (*Early Supression Fast Response*) e os residenciais:

- **QR** – Têm o $RTI < 50$ e são colocados em situações que requerem aspersores de resposta rápida;
- **ESFR** – Têm o $RTI < 50$ e foram concebidos para descarregar grandes volumes de água em curtos espaços de tempo. Estão listados pela sua capacidade de supressão de incêndios em condições muito específicas de alto risco em armazenamento;
- **Residenciais** – Têm o $RTI < 50$ e foram especialmente investigados e desenvolvidos para salvaguardar a vida dos ocupantes no compartimento de origem do fogo. Embora sejam normalmente utilizados em habitação, esta não é uma realidade em Portugal, dado que a UT I (habitação), independentemente da categoria de risco, não necessita da implementação de sistemas automáticos de extinção de incêndios.

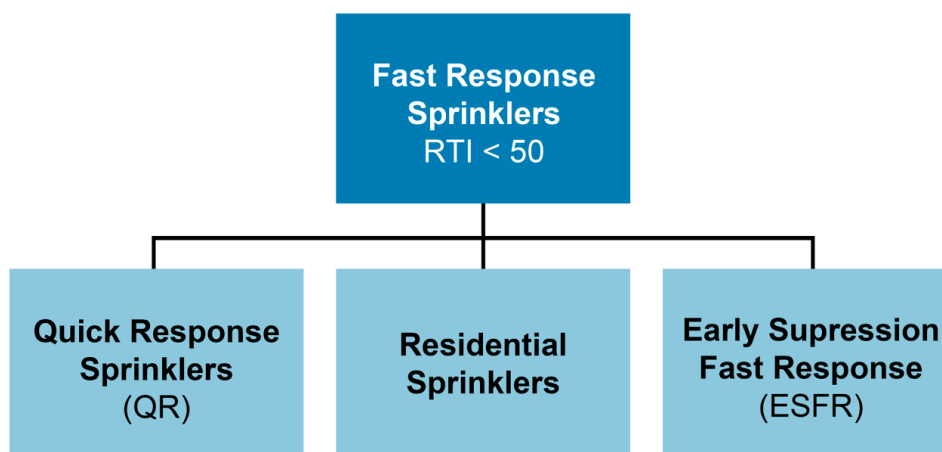


Fig. 12 - *Sprinklers* de resposta rápida. Adaptado de [27].

2.2.2.4. Área de cobertura e padrão de descarga

Referentes à área de cobertura, existem três tipos de *sprinklers* (Figura 13):

- **Cobertura normal** – São os mais utilizados, devido à sua elevada eficácia comprovada para um leque amplo de utilizações e riscos associados. São instalados de acordo com a especificação da limitação de área de cobertura. Podem ser colocados em várias orientações, que são abordadas de seguida;
- **Cobertura alargada** – Cobrem uma área maior, como o nome indica. Podem contribuir para a utilização de menos material e menos custo de mão de obra, dado que não é necessário colocar tantos aspersores. Todavia ao conceder as reduções no número de *sprinklers*, as necessidades de pressão e caudal na rede aumentam. No balanço final os custos de instalação podem acabar por ser comprometidos. Permitem ainda, que sejam colocados em várias orientações;
- **Old style** – São utilizados em condições especiais. A pulverização da água realiza-se de forma diferente: metade da água é projetada no sentido ascendente e a outra metade no sentido descendente. Este tipo de *sprinkler* é utilizado, em geral, na orientação vertical (montante ou pendente, ver 2.2.2.6).

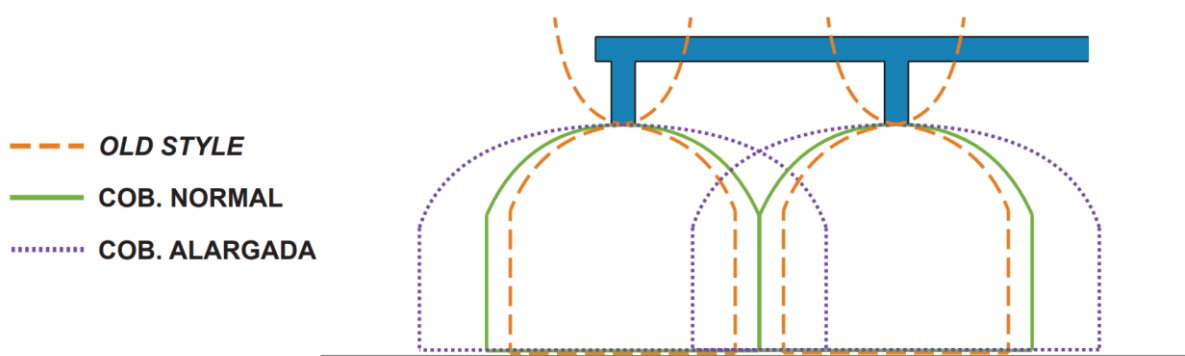


Fig. 13 - Áreas de cobertura. Adaptado de [28].

2.2.2.5. Coeficiente de descarga “K”

O coeficiente de descarga K varia de *sprinkler* para *sprinkler*. Relaciona o caudal (volume de água num dado período de tempo) com a pressão com que o *sprinkler* efetua o escoamento. O fator K define a capacidade de descarga de um *sprinkler* e está relacionado com a dimensão do orifício de descarga. O coeficiente pode ser calculado com a seguinte fórmula:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (1)$$

- K – constante de escoamento do *sprinkler* ou coeficiente de descarga [l/min.bar^{1/2}];
- Q – caudal [l/min];
- P – pressão [bar].

Há uma relação de proporcionalidade direta entre o risco de um dado espaço e o fator K de um *sprinkler*. As classes de risco mais elevadas exigem o uso de *sprinklers* com fator K mais elevado.

2.2.2.6. Orientação de instalação

Em associação com a orientação há os seguintes tipos de *sprinklers*:

- **Pendentes** – São instalados na posição vertical, direcionados para baixo, de modo que o jato de água incide no defletor e têm um padrão de descarga tipo e muito característico. É a orientação mais comum;
- **De parede** – São instalados, em geral, ao longo de uma parede e projetam água na direção do espaço. O padrão de descarga corresponde a um quarto de esfera, com parte a incidir na parede;
- **Montantes** – São instalados na posição vertical, direcionados para cima, de modo que o jato de água incide no defletor, têm um padrão de descarga semelhante aos *sprinklers* pendentes. A diferença é que estes são montados no topo da tubagem;

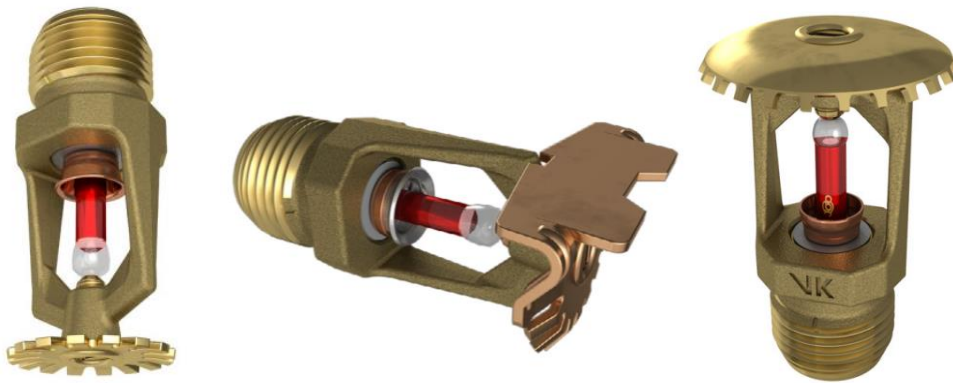


Fig. 14 - *Sprinkler* pendente (esq.), de parede (centro) e montante (dir.) [24].

- **Embutidos** ou **semiocultos** – São embutidos no elemento construtivo, em parte ou na totalidade;
- **Ocultos** – São embutidos cobertos com uma placa. A placa é, geralmente, soldada à peça que enrosca no elemento construtivo e a solda funde a uma temperatura ligeiramente inferior à de atuação dos *sprinklers*. O defletor desce assim que a placa cai ficando a uma cota inferior em relação ao teto.



Fig. 15 - *Sprinkler* embutido (esq.) e oculto (dir.) [29, 30].

2.2.2.7. Condições especiais de uso

No que diz respeito a situações especiais de utilização de *sprinklers*, observam-se vários tipos:

- **Resistentes à corrosão** – Fabricados com componentes ou revestimentos especiais que protegem da corrosão, para atuarem em locais que corroem *sprinklers* normais. Utiliza-se, por exemplo, aço inoxidável ou titânio;
- **Abertos** – Não possuem elemento termossensível e operam todos em simultâneo quando ativados. Descarregam muita água num curto espaço de tempo, logo são utilizados em áreas de risco elevado. São instalados nos sistemas de dilúvio, que são versados adiante;
- **Para níveis intermédios** – Instalados com proteções que escudam os elementos termossensíveis. São utilizados para armazenamento com estantes, no qual é necessário proteger os aspersores da água projetada por *sprinklers* acima localizados;
- **Secos** – Na sua constituição, possuem uma válvula que impede a água de entrar no trecho a jusante desta até que o *sprinkler* seja ativado. São instalados nos sistemas húmidos, que são abordados mais adiante, em zonas suscetíveis a congelamento.



Fig. 16 - *Sprinkler* aberto (esq.), para nível intermédio (centro) e seco (dir.) [31-33].

- **CMDA (*control mode density/area*)** – Estão presentes em locais de armazenamento e utilizam o método densidade/área. A terminologia CMDA geralmente não é referenciada para utilizações que não sejam de armazenamento [34];
- **CMSA (*control mode specific application*)** – São capazes de produzir gotas de água de grande dimensão e têm capacidade de controlar incêndios em condições de elevada classe de risco [34]. Os *sprinklers* de gota gorda classificam-se como CMSA.

2.2.2.8. Tecnologia recente

Por último, eis os tipos de *sprinklers* alusivos às novas tecnologias. Estes têm surgido no mercado, não sendo tão comuns, mas é importante que se acompanhe o seu aparecimento.

- **Poliméricos** – São compostos, maioritariamente, por materiais poliméricos. São mais leves que os *sprinklers* metálicos e não têm chumbo na sua composição, permitindo que sejam utilizados em sistemas que utilizam água potável;

- **De ativação elétrica** – Funcionam através de um sinal elétrico enviado por um sistema especial de detecção e controlo. O sistema combina a detecção de fumo e calor para localizar o ponto da combustão. Uma vez que a combustão é detetada, a rede de *sprinklers* é ativada, acionando os aspersores adequados para extinguir ou controlar o incêndio. São utilizados, normalmente, em instalações de armazenamento.



Fig. 17 - *Sprinkler* polimérico (esq.) e de ativação elétrica (dir.) [35, 36].

2.2.2.9. Identificação de *sprinklers*

Os aspersores contêm marcações no defletor que permitem a sua identificação. Na Figura 18, está exemplificado um *sprinkler* com as suas marcações e respetivos parâmetros.

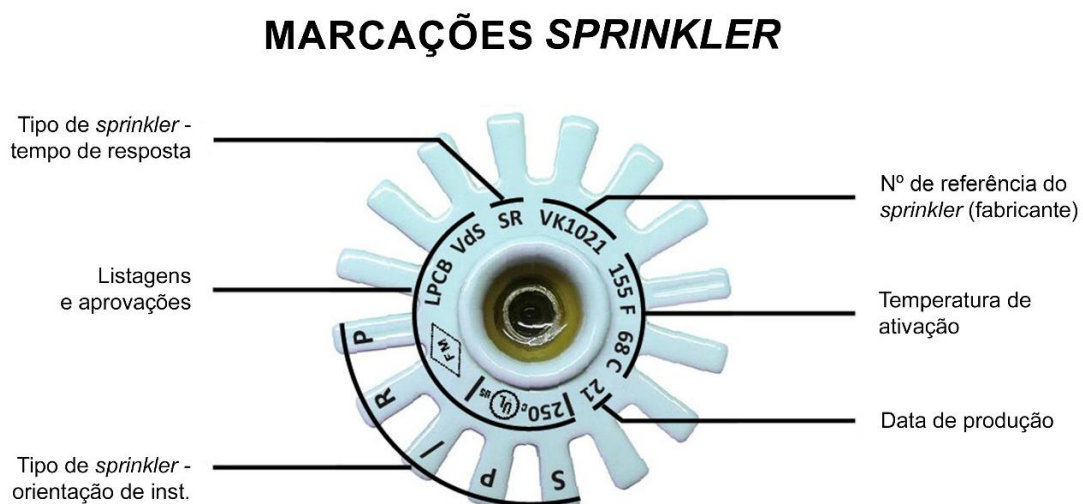


Fig. 18 - Identificação de *Sprinklers*. Adaptado de [24].

No exemplo da imagem as características do *sprinkler* são as seguintes: fabricante – *Viking Group*; tempo de resposta – normal (SR - Standard response), ver 2.2.2.3; tipo quanto à orientação – tradicional/embutido pendente, ver 2.2.2.6; aprovações – aprovação FM (programa de certificação reconhecido mundialmente), LPCB (organização de certificação do Reino Unido) e VdS (organização de certificação Alemã), as ultimas duas seguindo a norma EN 12259-1:1999+A3:2006 [37]. Nota: As posições das marcações no defletor podem variar de acordo com o tipo de *sprinkler* e com o fabricante.

2.2.3. REDE DE SPRINKLERS: DEFINIÇÃO E CONSTITUIÇÃO

Os sistemas automáticos de extinção de incêndio (SAEI) ou redes de *sprinklers* são sistemas automáticos, cujo objetivo é detetar o incêndio e extingui-lo numa fase inicial ou circunscrevê-lo até que possa ser possível a sua extinção por outros meios.

Um SAEI é constituído por: uma reserva adequada de agente extintor, um sistema de bombagem e uma ou mais instalações de *sprinklers*, em que cada instalação é dotada de posto de controlo e rede de tubagens com *sprinklers* instalados. Geralmente, estes encontram-se ao nível dos tetos ou cobertura, paredes, eventualmente entre estantes sob as prateleiras e em fornos. Pode observar-se na Figura 19 os elementos principais de uma instalação genérica.

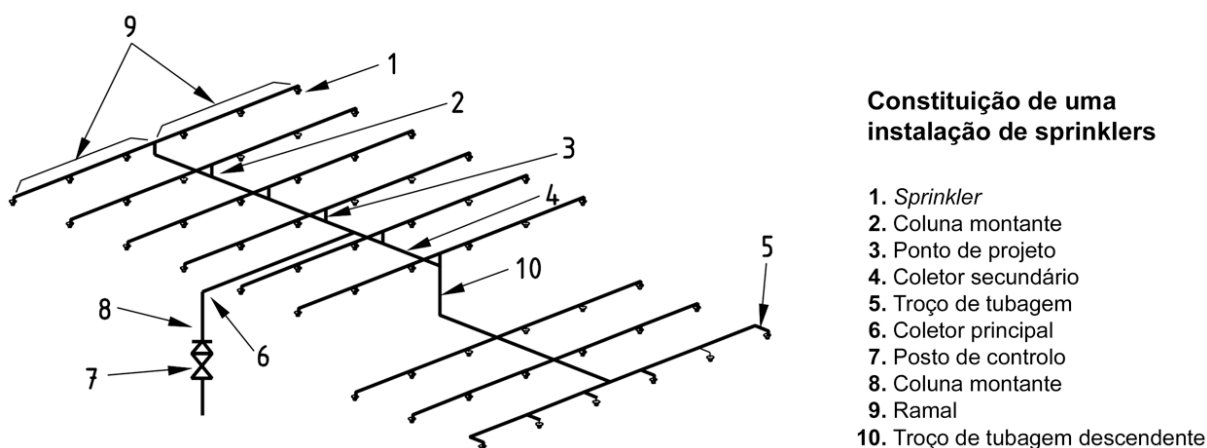


Fig. 19 - Elementos principais de uma instalação de *sprinklers*. Adaptado de [38].

2.2.4. TIPOLOGIA DE REDES DE SPRINKLERS

2.2.4.1. Tipos de traçado e de redes

As redes de *sprinklers* podem ser do tipo “ramificada”, no qual a água tem circulação única ou “emalhada” em que a água pode circular em vários sentidos.

O traçado pode ser definido de várias formas, algumas representadas na Figura 20, e a alimentação pode ser central ou de topo (Figura 21).

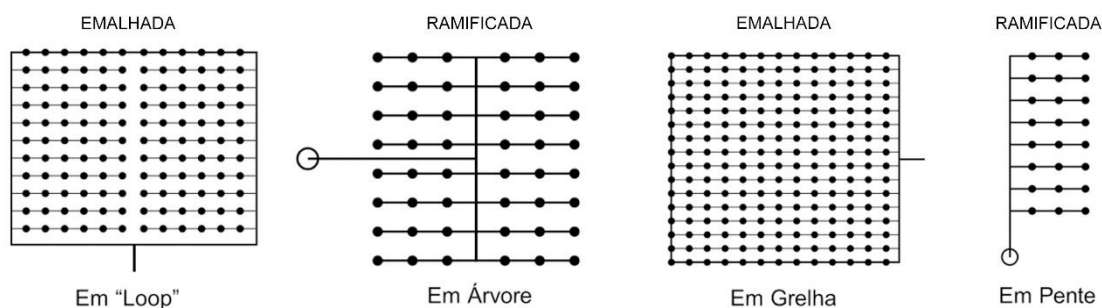


Fig. 20 - Tipos de traçados. Adaptado de [39].

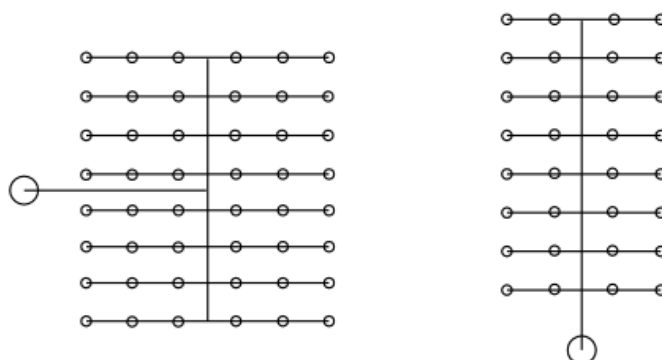


Fig. 21 - Tipos de alimentação: Central (esq.) e de topo (dir.) [38].

2.2.4.2. Tipos de SAEI por Agente extintor

Os SAEI podem ser categorizados segundo o agente extintor que utilizam. As soluções utilizadas por redes de *sprinklers* são as seguintes:

- **Água** (pode ser usada com aditivos, molhantes e viscosificantes):
 - **Pulverizada;**
 - **Nebulizada.**
- **Solução espumífera;**
- **Gás inerte;**
- **Pó químico;**
- **Outros agentes extintores.**

Há especial enfoque nas redes de *sprinklers* que utilizam água, dado que a sua utilização é bastante mais significativa que os restantes sistemas.

2.2.4.3. Tipos de SAEI por água

Existem dois tipos de SAEI: os abertos ou de dilúvio e os fechados. Estes têm constituição semelhante à da Figura 19 e diferem na tipologia do posto de controlo e comando, na constituição dos aspersores (*sprinklers*) e na forma de funcionar.

Os sistemas fechados estão equipados com um elemento termicamente sensível (elemento metálico ou ampola de vidro) e, quando atingem a temperatura de ativação (prevista em projeto), atuam isoladamente em função dos focos e desenvolvimento do incêndio, com água bombeada da fonte abastecedora. Os sistemas fechados compreendem quatro subtipos de sistemas [22, 39]:

- **Sistema húmido** – permanentemente sobre carga (tubagem cheia de água). Há descarga imediatamente após ativação do elemento sensível pelo calor do incêndio. São os sistemas mais comuns e devem ser utilizados quando não existe probabilidade de congelamento da água no interior dos tubos e a temperatura não excede 100.°C;
- **Sistema seco** – os *sprinklers* estão instalados em tubagem seca, contendo ar (ou gás inerte) pressurizado, sendo que o posto de comando mantém a água a montante. O sistema só é ativado depois de um ou mais *sprinklers* serem acionados, despressurizando o ar/azoto contido na rede. Estes sistemas são utilizados nas regiões onde há o risco da água congelar na tubagem ou nas instalações onde a temperatura possa exceder 100.°C;

- **Sistema alternado** – pode operar como húmido ou seco, consoante a época do ano. Este sistema necessita de alimentação de ar comprimido, para assegurar o equilíbrio de pressões no sistema). É de aplicação limitada pelos custos associados;
- **Sistema de pré-ação** – combinado com um SADI (Sistema Automático de Detecção de Incêndio). A rede a jusante do posto de comando está seca e é alimentada com água quando o SADI deteta um incêndio. A tubagem fica, assim, cheia de água, no entanto, a atuação depende da ativação dos *sprinklers*. Os sistemas de pré-ação subdividem-se, assim, em três sistemas:
 - **Sistema não interbloqueado** – a água é descarregada, caso haja ordem do SADI ou ativação de um ou mais *sprinklers*;
 - **Sistema interbloqueado simples** – a admissão de água na rede ocorre exclusivamente por ordem do SADI sobre o posto de comando do sistema;
 - **Sistema interbloqueado duplo** – a admissão de água na rede ocorre, por simultaneidade de ordem do SADI e de ativação de um ou mais *sprinklers*.

Os sistemas de dilúvio utilizam *sprinklers* abertos, ou seja, *sprinklers* que não são munidos de elementos termicamente sensíveis. Os aspersores atuam todos de forma simultânea quando ativados. Este sistema é complementado por um SADI que aciona, em caso de deteção de um incêndio, a descarga de água pela rede, fluindo por todas as cabeças de *sprinklers*. Estes são instalados, em geral, quando se prevê um desenvolvimento muito rápido do incêndio ou quando se pretende uma descarga uniforme e simultânea em toda a área coberta.

Os sistemas de cortina de água assemelham-se ao tipo dilúvio, no entanto, possuem uma configuração especial de difusores abertos dispostos em linha, com o objetivo de irrigar um elemento construtivo, o que faz com que sejam apropriados à proteção de uma grande variedade de elementos estruturais [40]. A cortina de água constitui uma barreira, evitando o alastramento do fogo (Figura 22).



Fig. 22 - Esquema de funcionamento dos sistemas de cortina de água [41].

Uma nota para os SAEI que utilizam água nebulizada: podem ser dos dois tipos mencionados anteriormente (fechados e húmidos). Estes sistemas utilizam dispositivos de pressurização da água e, no momento da ativação, projetam uma névoa fina.

A água nebulizada é mais eficaz do que a água tradicional, no que toca à extinção de incêndios. A névoa criada pelos *sprinklers* aumenta a área da superfície das partículas e reduz o seu tamanho. A evaporação da água aumenta consoante o aumento da área da superfície das gotas, tornando o efeito do

arrefecimento maior, uma vez que a água absorve o calor emitido pela combustão. A somar ao efeito de arrefecimento, a água nebulizada atua por abafamento e inibição.

Abafamento em virtude do aumento do volume da água vaporizada e consequente redução de teor de oxigénio. Inibição devido à opacidade da névoa que impede a transmissão de calor por radiação.

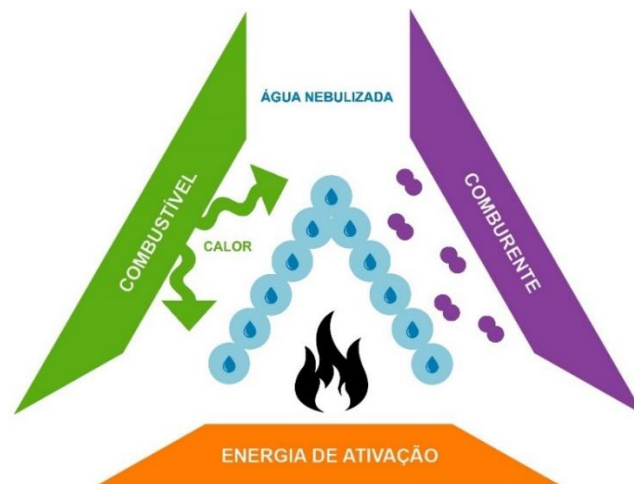


Fig. 23 - Mecanismos de extinção: água nebulizada. Adaptado de [42].

Estes sistemas apresentam, ainda, outra vantagem, além de serem mais eficazes na extinção que a utilização de água em jato ou água pulverizada. Essa vantagem é a redução da quantidade de água utilizada, que pode significar menos danos provocados no processo de extinção. Na Figura 24, estão comparados os *sprinklers* tradicionais com os *sprinklers* que utilizam água nebulizada, em relação ao volume de água necessário.



Fig. 24 - Comparação do volume de água utilizado: *sprinkler* tradicional vs de água nebulizada [42].

O objetivo primordial deste trabalho é conceber uma otimização, em *software* BIM, para redes de *sprinklers*. Assim, compreendendo o estado da arte atual dos *sprinklers* e percebendo as práticas mais frequentes, os SAEI do tipo húmido são os escolhidos para o foco do estudo devido à sua preponderância.

Não existem dados estatísticos nacionais sobre a matéria, mas na Figura 25 são apresentadas estatísticas dos Estados Unidos da América referentes à utilização dos diversos sistemas de SAEI. Sendo um dos países que mais utiliza estes sistemas, verifica-se o uso prevalecente do tipo húmido, perto de 90%.

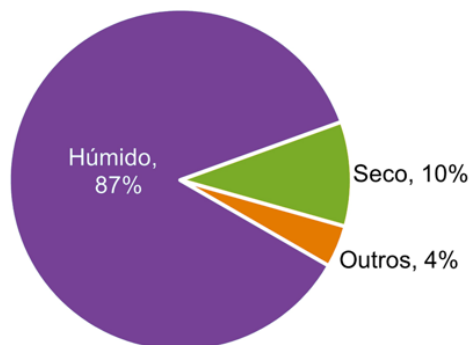


Fig. 25 - Tipos de *sprinklers* presentes em incêndios (EUA) : 2015–2019. Adaptado de [43].

Os postos de comando diferem consoante a tipologia do sistema (húmido, seco, pré-ação e dilúvio), na sua constituição e na forma de operação.

Na Figura 26, é ilustrado um exemplo de um posto de comando de um sistema fechado do tipo húmido. O conjunto é constituído por uma válvula de alarme, uma válvula de seccionamento e por todas as outras válvulas e acessórios associados, para o controlo de uma instalação de uma rede de *sprinklers*.

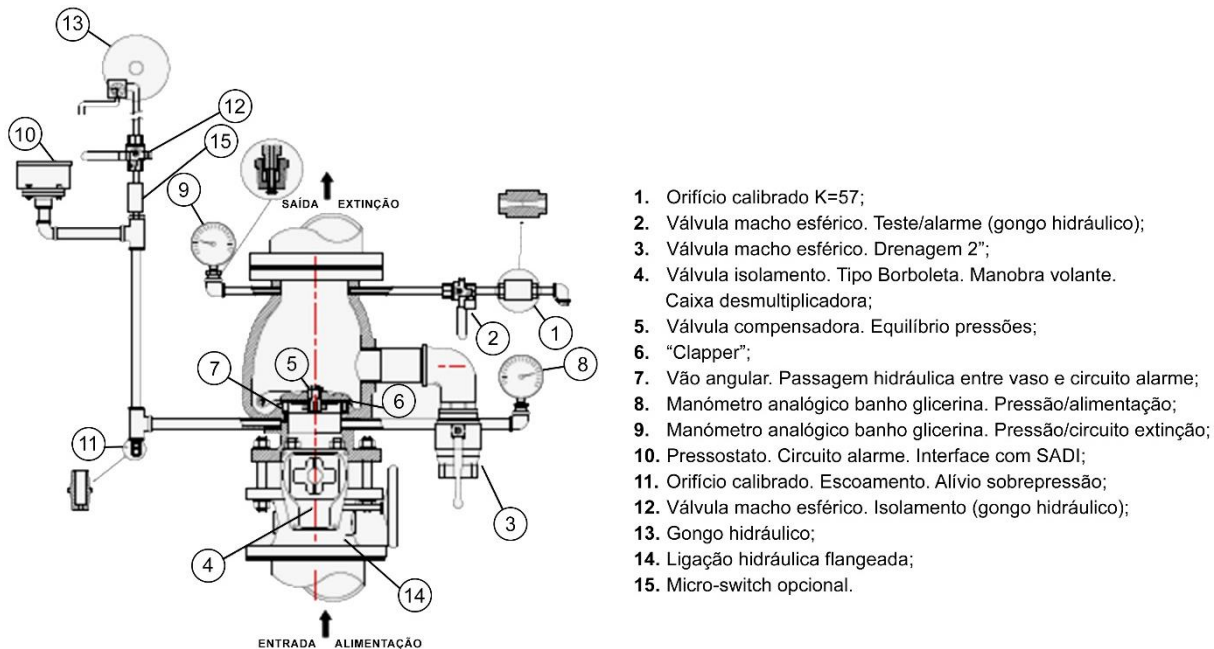


Fig. 26 - Exemplo de posto de comando húmido. Adaptado de [22].

2.2.5. TUBAGEM E ACESSÓRIOS

Existem, quanto ao material, vários tipos de tubagem utilizados nas redes de *sprinklers*: tubos de aço, tubos de ferro fundido dúctil, tubos de cobre, tubos de CPVC e tubos de PEX. Os tubos de aço são os mais utilizados.

Existe uma vasta e diversa panóplia de soluções para os acessórios da tubagem: uniões, joelhos, “tês”, derivações, cruzetas, tampões, etc. Quanto à forma de conexão, podem ser permanentes: soldados e roscados, ou desmontáveis: ranhurados ou flangeados. Nas Figuras 27 e 28 apresentam-se gamas não exaustivas de acessórios roscados e ranhurados do fabricante ATUSA.



Fig. 27 - Alguns acessórios roscados (fabricante ATUSA). Adaptado de [18].

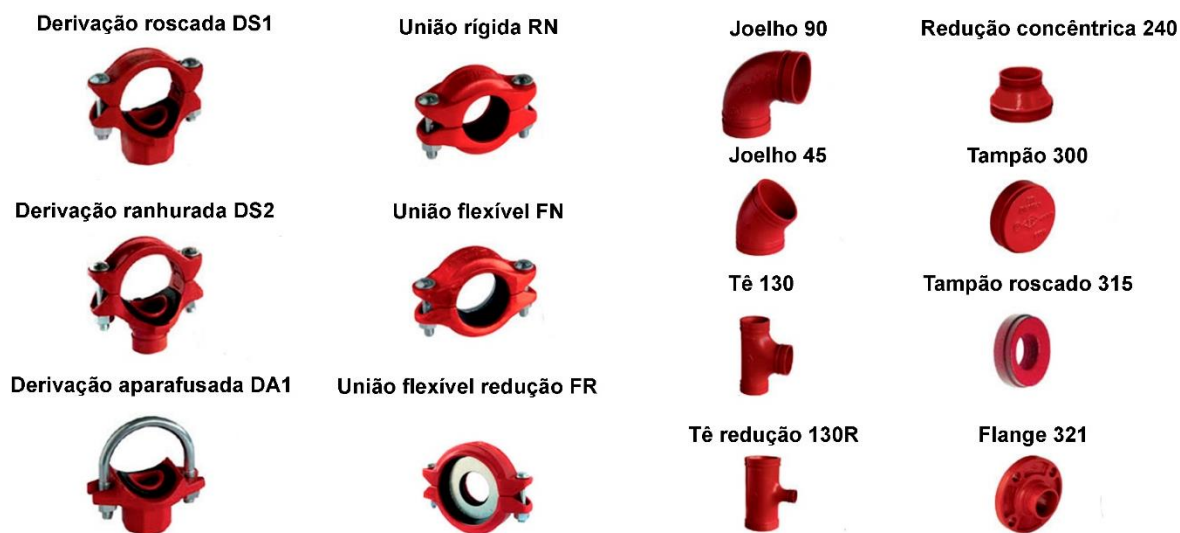


Fig. 28 - Alguns acessórios ranhurados (fabricante ATUSA). Adaptado de [18].

Na Figura 29, estão exibidos alguns exemplos de conexões de *sprinklers* à tubagem, da esquerda para a direita: joelho soldado, “tê” roscado, “tê” mecânico (ou derivação ranhurada), derivação soldada e joelho roscado.



Fig. 29 - Vários tipos de acessórios para conexão de *sprinklers* à tubagem [44-48].

Segundo a NT 16 [22], as tubagens a utilizar na montagem dos sistemas de *sprinklers* devem ser em aço, pelo menos da série “média” com costura e a sua fabricação deve obedecer à norma NP EN 10255 [49] para dimensões nominais inferiores ou iguais a DN 150. Para dimensões nominais superiores a DN 150 deve ser obedecida a norma NP EN 10217-1 [50]. Quando fornecidas com um revestimento de proteção por galvanização, o mesmo deverá obedecer à norma NP EN 10240 [51].

As ligações entre tubos devem ser ranhuradas ou roscadas, para dimensões nominais até DN 150 inclusive, e ranhuradas ou flangeadas para dimensões nominais superiores a DN 150 [22].

Os acessórios roscados e as flanges devem, respetivamente, ser conformes as normas NP EN 10242 [52] e NP EN 1092-1 [53] e com os critérios da tubagem onde vão ser aplicados. Sempre que a especificidade da instalação o requeira pode recorrer-se ao método de soldadura, o qual deve ser conforme as normas aplicáveis ao método soldadura e com os critérios da tubagem onde vão ser aplicadas. Todos os acessórios devem ser do mesmo material das tubagens e ter o mesmo tratamento [22].

De acordo com a NP 182 [54], a tubagem e acessórios devem, ainda, apresentar a cor de fundo verde (quando o fluido transportado é a água) e a cor adicional vermelha para indicar que o fluido se destina ao combate de incêndios. Existem três modalidades de aplicação: cor adicional (vermelho) em toda a extensão da tubagem; intercalação entre a cor de fundo (verde) e a cor adicional em toda a extensão; intercalação entre a combinação da intercalação das cores de fundo e adicional, e zona não pintada. As modalidades com intercalação de cores devem respeitar os comprimentos mínimos de tubagem a pintar.

2.2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS

As vantagens do uso de SAEI são:

- Rápida supressão/controlo do incêndio e, consequentemente, menos geração de calor e fumo;
- Deteção e alarme (para os ocupantes do edifício), além do propósito de extinguir incêndios;
- Exposição a menos perigo por parte de bombeiros e ocupantes do edifício;
- Medida de compensação eficaz para edifícios que não cumprem integralmente os regulamentos;
- Redução dos danos inerentes aos bens materiais e ao próprio edifício;
- Redução dos prémios de seguro, devido à diminuição do risco;
- Isenção de necessidade de operação humana;
- Utilização de menos água em relação ao que os bombeiros gastariam para apagar o mesmo incêndio.

Na Figura 30, estão presentes algumas estatísticas de incêndios nos EUA (2015–2019), no que diz respeito à comparação da presença de SAEI com a sua ausência. Do lado esquerdo, vê-se que, a cada mil incêndios onde estão instaladas redes de *sprinklers*, há menos seis mortes, em relação a incêndios em locais sem estas redes. Do lado direito, evidencia-se a eficácia da circunscrição do fogo por parte dos SAEI (95%) relativamente aos locais sem SAEI (71%).

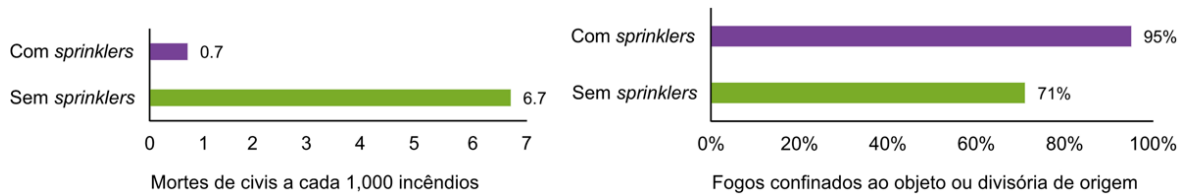


Fig. 30 - Algumas estatísticas dos EUA, 2015-2019. Adaptado de [43].

As desvantagens do uso de SAEI são:

- Falsos alarmes: os *sprinklers* podem ativar-se de forma accidental e causar danos;
- Custos consideráveis de instalação;
- Falhas do sistema: apesar da probabilidade ser bastante baixa, o sistema pode não funcionar;
- Necessidade de vários equipamentos que ocupam uma área significativa do edifício;
- Solução não universal a todas as classes de fogos;
- Necessidade de manutenção regular, o que pode ser um problema para quem não tem recursos para manter o sistema.

Na Figura 31, comprova-se que, nos EUA (2015–2019), em cenário de incêndio, os sistemas operaram 92% das vezes. Observa-se que, em 4% dos casos, houve operação sem eficácia. Há diversos motivos para a operação deficiente ou não operação dos sistemas. Na Figura 32 são apresentadas as causas.

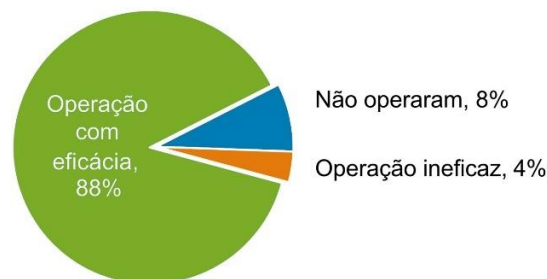


Fig. 31 - Operação e eficácia de SAEI (EUA, 2015-2019). Adaptado de [43].

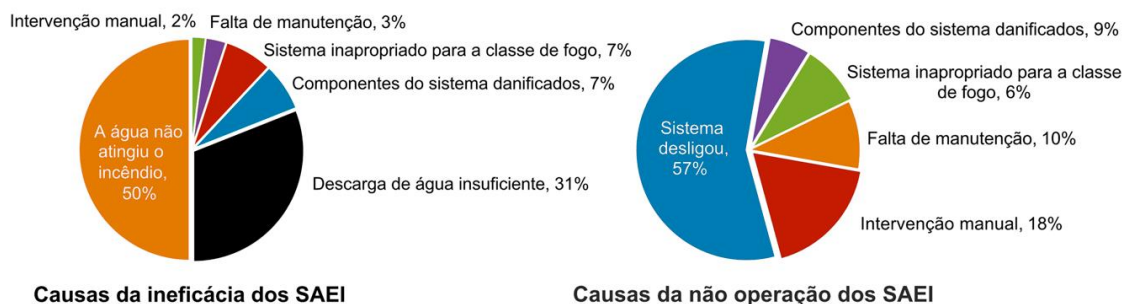


Fig. 32 - Causas da operação deficiente e da não operação dos SAEI (EUA, 2015-2019). [43]

2.3. REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA

2.3.1. RT-SCIE [19] E NT's

De acordo com o RT-SCIE [19], a conceção e a instalação dos sistemas obedecem ao estabelecido nos artigos referentes aos SAEI presentes no capítulo VI, “Sistemas fixos de extinção automática de incêndios”, assim como às normas em vigor e à especificação técnica publicada por despacho do presidente da ANEPC (notas técnicas: NT 14, NT 15 e NT 16 [22, 55, 56])

Quanto aos SAEI por água, foco desta tese, o RT-SCIE [19] prescreve o seguinte:

- São aceites os sistemas do tipo húmido, seco, alternado, tipo pré-ação e tipo dilúvio, podendo ser de aplicação local, cobertura parcial ou total, em função dos riscos e das disposições construtivas dos espaços;
- Os sistemas a utilizar referidos no artigo que indica a obrigatoriedade dos SAEI são do tipo húmido com exceção das caixas de palco com área superior a 50 m² de espaços cénicos isoláveis, onde o sistema a utilizar, deve ser do tipo dilúvio, nas condições específicas previstas.

Segundo o RT- SCIE [19], os SAEI por água devem:

- Respeitar o Quadro 7 que dita os critérios de dimensionamento dos sistemas. Em alternativa, podem ser adotados outros referenciais normativos, versados na NT 16 [22], contendo outros parâmetros de cálculo presentes nessas normas;

Quadro 7 - Critérios de dimensionamento de SAEI por água [19].

Utilização-tipo	Densidade de descarga (L/min/m ²)	Área de operação (m ²)	N.º de aspersores em funcionamento simultâneo	Calibre dos aspersores (mm)	Tempo de descarga (min.)
II	5	144	12	15	60
III, VI, VII, VIII	5	216	18	15	60
XII*	10	260	29	20	90

*Incluindo sistemas tipo dilúvio previstos para a UT VI, com um tempo de descarga de 30 min.

- Utilizar aspersores calibrados, usualmente para 68 °C, ou os critérios e referenciais normativos constantes da especificação técnica prevista na NT 16 [22];
- Dispor de alimentação de água através de um depósito privativo do serviço de incêndio e central de bombagem, com as características referidas no RT-SCIE [19] ou os critérios e referenciais normativos constantes nas NT 14 e 15 [55, 56].

Os postos de comando do sistema devem estar situados em locais acessíveis aos meios de socorro dos bombeiros e devidamente sinalizados.

Segundo a NT16 [22], na elaboração dos projetos de SAEI por água, a utilização de qualquer um dos referenciais normativos a seguir indicados, na sua versão mais atual à data do pedido de licenciamento do projeto, é admitida, devendo ter em consideração, quanto ao dimensionamento, os valores constantes do Quadro 7 ou, em alternativa, outros parâmetros de cálculo e os referenciais normativos constantes em especificação técnica da ANEPC.

- A norma NP EN 12845 [38] (abordada na NT16 [22]);

- A norma NFPA 13 [34] (abordada na NT16 [22]);
- Outros sistemas normativos (Ex.: FM, APSAD, BS, etc.).

A um sistema fixo de extinção automática de incêndio por água (SAEI por Água), aplica-se um único referencial técnico.

A NT 16 [22] indica que, para a fonte abastecedora do sistema, se aplica a NT 14 [55], a NP EN 12845 [38] ou a NFPA 13 [34] e, para o sistema de bombagem, se aplica a NT 15 [56], a NP EN 12845 [38] ou a NFPA 20 [57], consoante a opção de conceção selecionada.

A especificação técnica do RT-SCIE [19] acerca do dimensionamento e conceção destes sistemas é escassa. O dimensionamento é, geralmente, feito segundo uma das normas versadas na NT16 [22]. Assim acontece devido a algumas agências seguradoras não reconhecerem o dimensionamento de SAEI pelo RT-SCIE [19] ou o prémio a pagar baixa consideravelmente quando se utiliza uma destas normas com reconhecimento europeu e mundial, sendo o caso da NP EN 12845 [38] e da NFPA 13 [34].

Assim, avança-se para uma síntese dos princípios de conceção e dimensionamento segundo a NP EN 12845 [38]. Esta norma, assim como o RT-SCIE [19], é utilizada, posteriormente, nos cenários de aplicação ao caso de estudo.

2.4. NORMA EUROPEIA: NP EN 12845 [38]

2.4.1. CLASSES DE RISCO

Em conformidade com a NP EN 12845 [38], os edifícios e espaços a proteger pelos sistemas automáticos de *sprinklers* devem ser classificados como sendo de Risco Ligeiro, Risco Ordinário ou Risco Elevado. Essa classificação depende da ocupação e da carga de incêndio.

Risco Ligeiro, LH (*Light Hazard*) – Inclui ocupações com baixa carga de incêndio e combustibilidade, que não compreendem nenhum compartimento com mais de 126 m² nem com resistência ao fogo inferior a 30 minutos.

Risco Ordinário, OH (*Ordinary Hazard*) – Inclui ocupações nas quais os materiais combustíveis com carga de incêndio e combustibilidade média são transformados ou fabricados. O risco ordinário é dividido em 4 grupos:

- Risco ordinário Grupo 1 (OH1);
- Risco ordinário Grupo 2 (OH2);
- Risco ordinário Grupo 3 (OH3);
- Risco ordinário Grupo 4 (OH4).

Os materiais podem ser armazenados nas ocupações classificadas como OH, desde que cumpram as disposições normativas relativas a este ponto.

Risco elevado, HH (*High Hazard*) – Divide-se em dois tipos de risco, o associado a Processos de Risco Elevado, HHP (*High Hazard, Process*) e o associado a Armazenamento de Risco Elevado, HHS (*High Hazard, Storage*).

Processos de Risco Elevado, HHP – Abrangem atividades em que os materiais em causa têm uma elevada carga de incêndio e combustibilidade, contribuindo para a rápida propagação ou intensificação do incêndio. HHP é subdividido em quatro grupos:

- Processo de Risco Elevado Grupo 1, HHP1;
- Processo de Risco Elevado Grupo 2, HHP2;

- Processo de Risco Elevado Grupo 3, HHP3;
- Processo de Risco Elevado Grupo 4, HHP4.

Armazenamento de Risco Elevado, HHS – Abrange o armazenamento de materiais, em que a altura de armazenamento excede os limites indicados para o OH. O HHS é subdividido em quatro categorias:

- Armazenamento de Risco Elevado Categoria I, HHS1;
- Armazenamento de Risco Elevado Categoria II, HHS2;
- Armazenamento de Risco Elevado Categoria III, HHS3;
- Armazenamento de Risco Elevado Categoria IV, HHS4.

O Anexo A da norma contém a classificação de riscos tipificados. Nesta secção estão presentes listas de classificação mínimas de riscos para LH, OH e HHP, ou seja, todos os tipos de risco, exceto armazenamento de risco elevado, HHS. Nos Quadros seguintes (8, 9 e 10) encontram-se alguns exemplos.

Quadro 8 - Ocupações de Risco Ligeiro, classificação mínima de riscos [38].

Ocupações de Risco Ligeiro, LH
Escolas e outras instituições de ensino (determinadas áreas)
Escritórios (determinadas áreas)
Prisões

Quadro 9 - Ocupações de Risco Ordinário, classificação mínima de riscos. Exemplos [38].

Ocupação	Grupo de Risco Ordinário			
	OH1	OH2	OH3	OH4
Vidro e cerâmica			Fábricas de vidro	
Químicas	Cimenteiras	Fábricas de película fotográfica	Tinturarias Fábricas de sabão Laboratórios fotográficos Cabines de pintura com tinta de base aquosa	
Papel			Encadernação Fábricas de cartão Fábricas de papel	Reciclagem de papel

Quadro 10 - Ocupações de Risco Elevado, classificação mínima de riscos. Exemplos [38].

HHP1	HHP2	HHP3	HHP4
Fabrico de linóleo e pavimentos	Fabrico de isqueiros	Fabrico de nitrato de celulose	Fabrico de pirotecnia
Fabrico de aglomerados Fabrico de fósforos	Destilação de alcatrão Máquinas de papel	Pneus de borracha para carros e camiões	

A abordagem ao HHS é um pouco diferente. O risco global de incêndio das mercadorias armazenadas é função da combustibilidade dos materiais, incluindo a sua embalagem e a sua configuração. Existem seis tipos de configuração de armazenamento: armazenamento livre ou em blocos (ST1), armazenamento em paletes autoportantes (ST2), paletes autoportantes em filas múltiplas (ST3), estantes para paletes (ST4), prateleiras maciças ou em grelha com largura de um metro ou inferior (ST5) e prateleiras maciças ou em grelha com largura superior a um metro e inferior a seis metros (ST6). A determinação do critério de projeto segue o procedimento presente na Figura 33.

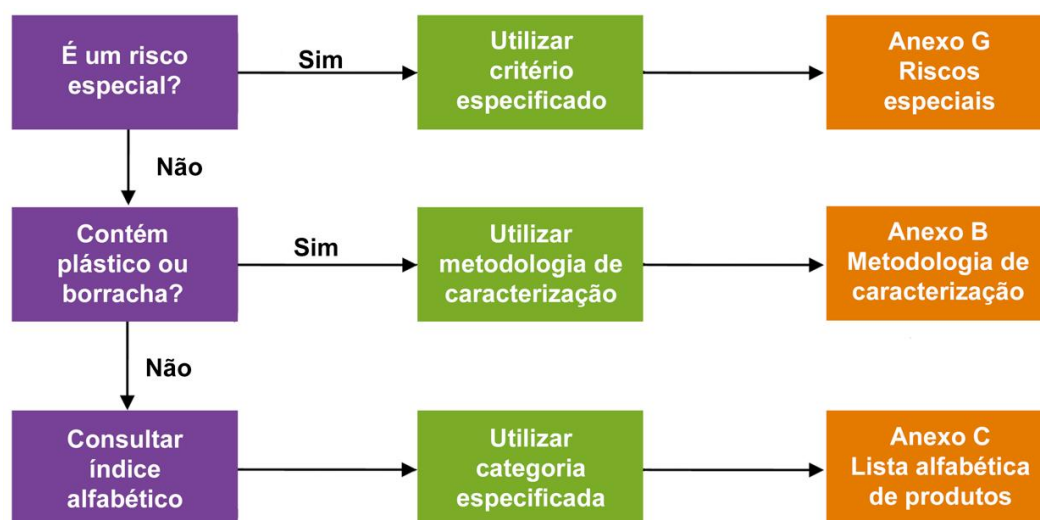


Fig. 33 - Fluxograma de definição das classes requeridas para o armazenamento. Adaptado de [38].

Os anexos B, C e G presentes na norma auxiliam a definição da classe de risco de HHS.

2.4.2. CRITÉRIOS DE PROJETO HIDRÁULICO

As especificações mínimas de densidades de projeto e áreas de operação para classes LH, OH e HHP estão indicadas no Quadro 11. A densidade de projeto é a densidade mínima de descarga, para a qual uma instalação de *sprinklers* é projetada. Esta é determinada pela descarga de um grupo específico de *sprinklers* em litros por minuto, dividida pela área coberta, em metros quadrados.

Quadro 11 - Critérios de projeto para classes LH, OH e HHP [38].

Classe de risco	Densidade de projeto (mm/min)	Área de operação (m ²)	
		Húmido ou de pré ação	Seco ou alternado
LH	2,25	84	Não permitido Usar OH1
OH1	5,0	72	90
OH2	5,0	144	180
OH3	5,0	216	270

Quadro 11 (continuação) - Critérios de projeto para classes LH, OH e HHP [38].

Classe de risco	Densidade de projeto (mm/min)	Área de operação (m ²)	
		Húmido ou de pré ação	Seco ou alternado
OH4	5,0	360	Não permitido Usar HHP1
HHP1	7,5	260	325
HHP2	10,0	260	325
HHP3	12,5	260	325
HHP4	Sistemas do tipo dilúvio (não abrangidos na EN 12845)		

Relativamente a HHS, a abordagem é diferente, à semelhança das classes de risco. Os critérios de projeto variam consoante as configurações do armazenamento (ST's) e da altura de armazenamento máxima. Quadros com critérios de projeto para esta classe de risco estão presentes na norma.

2.4.3. ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O abastecimento de água deve ser capaz de fornecer automaticamente, no mínimo, as condições de pressão e caudal exigidas para o sistema. Se o abastecimento alimentar outros sistemas de combate a incêndios, é necessário cumprir outras imposições. Cada abastecimento de água deve ter capacidade suficiente para os tempos mínimos de autonomia seguintes:

- LH – 30 minutos;
- OH – 60 minutos;
- HHP e HHS – 90 minutos.

A pressão da água não deve exceder 12 bar nas ligações de equipamentos ou nos locais identificados na norma. Nas instalações de *sprinklers* devem ser previstos dispositivos para medir a pressão e o caudal.

Os abastecimentos de água devem ser de um ou mais dos seguintes tipos:

- Rede pública de abastecimento;
- Reservatórios de armazenamento;
- Fontes inesgotáveis;
- Reservatórios pressurizados.

Cada um destes tipos é abordado com detalhe na norma.

2.4.4. TIPOLOGIA E DIMENSÃO DA INSTALAÇÃO

A norma prevê quatro tipos de SAEI, abordados e examinados em 2.2.4.3: tipo húmido, tipo seco, tipo alternado e tipo de pré-ação.

O tipo húmido (tipo predominante) é o único que permite implementar todas as configurações possíveis, ver Figura 20, em 2.2.4.1. As configurações em anel e em grelha são exclusivas deste tipo.

A área máxima controlada por uma única válvula de alarme húmida, incluindo quaisquer *sprinklers* numa extensão secundária, não deve exceder a indicada no Quadro 12.

Quadro 12 - Área máxima protegida em instalações húmidas [38].

Classe de risco	Área máxima protegida por posto de controlo (m ²)
LH	10 000
OH, incluindo quaisquer LH <i>sprinklers</i>	12 000, exceto como permitido nos anexos D e F da norma
HH, incluindo quaisquer OH e LH <i>sprinklers</i>	9 000

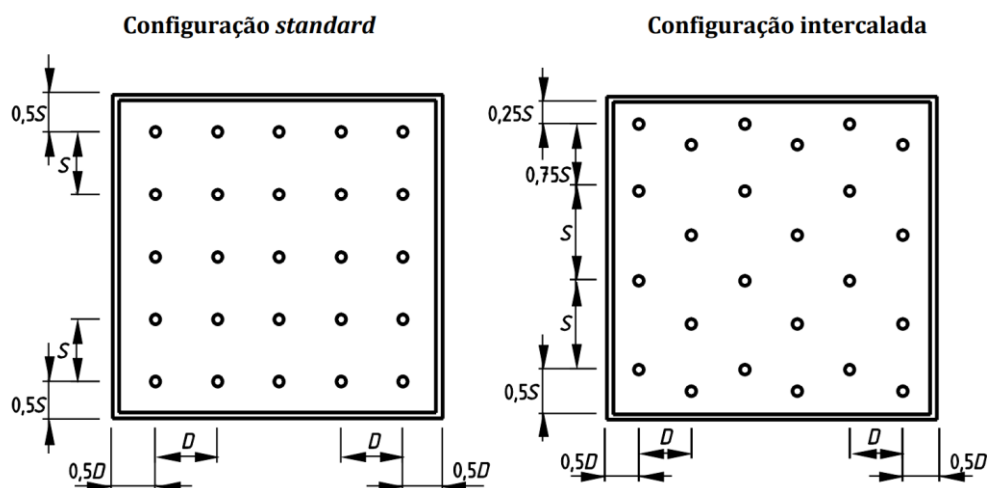
2.4.5. ESPAÇAMENTO E LOCALIZAÇÃO DE *SPRINKLERS*

Abaixo dos defletores dos *sprinklers* de cobertura ou de teto, devem ser mantidos espaços livres, que têm valores mínimos determinados. No caso de LH e OH: 0,3 metros para *sprinklers* de pulverização plana e 0,5 metros em outros casos. Por sua vez, para HHP e HHS: 1,0 metro em todos os casos.

A área máxima de cobertura de cada aspersor deve ser determinada de acordo com o Quadro 13, para os *sprinklers* de cobertura e de teto.

Quadro 13 - Área de cobertura e espaçamento máximos para *sprinklers* de cobertura e de teto [38].

Classe de risco	Área máxima por <i>sprinkler</i> (m ²)	Distâncias máximas conforme a Figura 34 (m)		
		Configuração <i>standard</i>	Configuração intercalada	
		S e D	S	D
LH	21,0	4,6	4,6	4,6
OH	12,0	4,0	4,6	4,0
HHP e HHS	9,0	3,7	3,7	3,7

Fig. 34 - Configurações para *sprinklers* de cobertura e de teto [38].

Os *sprinklers* não devem ser instalados em intervalos inferiores a 2,0 m, exceto em casos especiais, devidamente justificados.

Os aspersores devem, ainda, cumprir com várias imposições normativas no que diz respeito ao seu posicionamento em relação a elementos estruturais.

2.4.6. DIMENSIONAMENTO E TRAÇADO DAS TUBAGENS

2.4.6.1. Cálculo de perdas de pressão nas tubagens

Na análise de perdas de pressão na tubagem, há dois cálculos que devem ser executados: o cálculo das perdas por atrito, segundo a fórmula de Hazen-Williams e o cálculo da diferença de pressão estática.

- **Fórmula de Hazen-Williams:**

$$p = \frac{6,05 \times 10^5}{C^{1,85} \times D_i^{4,87}} \times L_{eq} \times Q_{troço}^{1,85} \quad (2)$$

- C – constante para o tipo e estado da tubagem [adimensional];
- D_i – Diâmetro interno do troço de tubagem [mm];
- L_{eq} – comprimento equivalente total do troço de tubagem [m];
- $Q_{troço}$ – Caudal no troço de tubagem [l/min]
- p – perda de pressão na tubagem [bar].

- **Diferença de pressão estática:**

$$p = 0,098h \quad (3)$$

- h – desnível no troço de tubagem [m];
- p – diferença de pressão estática [bar].

A velocidade de escoamento não deve exceder: 6 metros por segundo em qualquer válvula, dispositivo de monitorização do caudal e/ou filtro, e 10 metros por segundo em qualquer outro ponto do sistema.

Nas perdas de carga em acessórios e válvulas é utilizado o método dos comprimentos equivalentes. Estes são especificados pelo fabricante do equipamento ou retirados do quadro respetivo na norma. Neste método, cada acessório ou válvula, é substituído por um trecho de tubo equivalente com um dado comprimento. Esse comprimento equivalente origina uma perda de carga aproximada àquela que o componente em questão causa.

Estão previstos dois métodos para realizar o dimensionamento das tubagens: os sistemas pré-calculados e os sistemas completamente calculados.

2.4.6.2. Sistemas pré-calculados

Nos sistemas pré-calculados, os diâmetros das tubagens são determinados através de pontos de projeto. Estes são pontos num coletor de uma instalação (pré-calculada), a jusante da qual a tubagem é dimensionada através de tabelas e a montante da qual a tubagem é dimensionada por cálculo hidráulico.

Os diâmetros de todas as tubagens a montante dos diversos pontos de projeto de uma rede devem, então, ser calculados até ao posto de controlo. As colunas montantes e descendentes devem ser consideradas como coletores e dimensionadas em conformidade.

Os pontos de projeto devem estar localizados nos pontos de ligação de um coletor horizontal com: uma tubagem de ramal, uma coluna montante ou descendente que liga ramais a coletores e/ou uma tubagem de alimentação com um *sprinkler* individual. O número máximo de *sprinklers*, a jusante de cada ponto de projeto, deve ser o indicado nas tabelas da norma, como no Quadro 14.

Quadro 14 - Localização dos pontos de projeto - OH, HHP e HHS [38].

Classe de risco	Número de <i>sprinklers</i> num coletor, num compartimento	Localização do ponto de projeto numa junção dum coletor com um ramal que possui o n-ésimo <i>sprinkler</i> em que n é	Disposição do ramal
OH	>16	17	em pente (2 <i>sprinklers</i> por linha)
	>18	19	restantes
HHP e HHS	>48	49	todos

Para as tubagens a jusante dos pontos de projeto existem quadros com diâmetros para ramais e coletores em função da classificação de risco.

2.4.6.3. Sistemas completamente calculados

Nos sistemas completamente calculados, a densidade de descarga deve ser considerada como o caudal total, em litros por minuto, do grupo de quatro *sprinklers* mais próximos, dividido pela área, em metros quadrados, coberta por estes quatro *sprinklers*. A densidade de descarga de cada área de operação ou da totalidade da área protegida, a que for menor, não deve ser inferior ao valor da densidade de projeto especificado em 2.4.2, no Quadro 11.

Devem ser determinadas as áreas de operação hidráulicamente mais desfavoráveis e mais favoráveis com base nas regras de localização e forma das mesmas, como o exemplo da Figura 35.

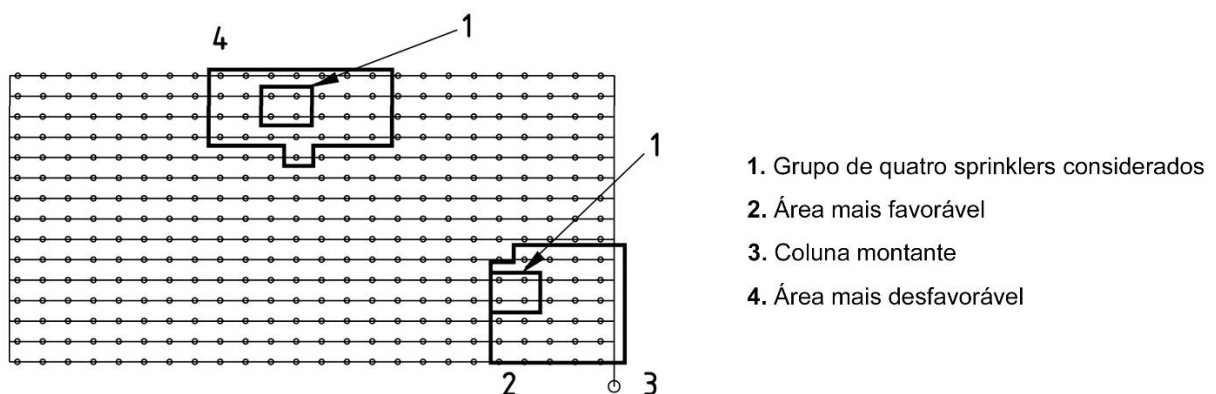


Fig. 35 - Áreas de operação mais favoráveis e desfavoráveis em configuração em grelha [38].

A pressão para o *sprinkler* posicionado na localização hidráulicamente mais desfavorável, quando todos os *sprinklers* na mesma área de operação estão em funcionamento, não deve ser inferior à exigida para atingir a densidade de descarga ou à mencionada a seguir, a que for maior: 0,70 bar para LH, 0,35 bar para OH ou 0,50 bar para HHP e HHS.

Os diâmetros da tubagem não devem ser inferiores aos apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 - Diâmetro mínimo das tubagens [38].

Classe de risco	Diâmetro (mm)
LH	20
OH e HH, tubagem horizontal e montante ligando um <i>sprinkler</i> com fator K não superior a 80	20
Todos os outros	25

2.4.7. UTILIZAÇÕES DE SPRINKLERS

O tipo de *sprinkler* a utilizar deve ser seleccionado em função das várias classificações de risco, como disposto no Quadro 16.

Quadro 16 - Tipos de *sprinklers* e fatores K para as várias classificações de risco [38].

Classe de risco	Densidade de descarga (mm/min)	Tipo de <i>sprinkler</i>	Fator K, nominal
LH	2,25	Convencional, pulverizador, semioculto, pulverização plana, embutido, oculto e de parede	57
OH	5,0	Convencional, pulverizador, semioculto, pulverização plana, embutido, oculto e de parede	80 ou 115
<i>Sprinklers</i> de teto ou de cobertura para classes de risco HHP e HHS	≤ 10	Convencional, pulverizador	80, 115 ou 160
	> 10	Convencional, pulverizador	115 ou 160
<i>Sprinklers</i> intermédios na armazenagem em altura, para classes de risco HHS		Convencional, pulverizador e de pulverização plana	80 ou 115

O critério de seleção dos *sprinklers*, quanto à temperatura de resposta, foi exposto em 2.2.2.2, devendo a temperatura de resposta ser próxima, mas nunca inferior a 30°C acima da temperatura ambiente máxima expectável.

Quanto à sensibilidade térmica, os *sprinklers* devem ser empregues respeitando o Quadro 17.

Quadro 17 - Sensibilidade térmica do *sprinkler* [38].

Sensibilidade térmica	Em estantes	Teto acima de armazenagem em estantes	Sistemas secos de pré-ação Tipo A	Todos os restantes
Standard "A"	Não	Sim	Sim	Sim
Especial	Não	Sim	Sim	Sim
Resposta rápida	Sim	Sim	Não	Sim

2.4.8. OUTRAS DISPOSIÇÕES RELEVANTES

Cada instalação de *sprinklers* deve ter um posto de controlo, provido de um alarme hidráulico, e um dispositivo elétrico para indicação de alarme remoto.

As tubagens devem ser instaladas de forma a que sejam de fácil acesso para reparações e alterações.

É necessário projetar os suportes de tubagem, que devem circundar a tubagem e não ser soldados à tubagem ou aos acessórios. Os suportes de tubagem devem respeitar as regras de espaçamento e localização impostas pela norma. Para projetar os suportes os Quadros 18 e 19 devem ser consultados.

Quadro 18 - Parâmetros de projeto para suportes de tubos [38].

Diâmetro nominal do tubo – d (mm)	Capacidade de carga mínima a 20°C (kg)	Secção transversal mínima (mm ²)	Comprimento mínimo do parafuso de fixação (mm)
$d \leq 50$	200	30 (M8)	30
$50 < d \leq 100$	350	50 (M10)	40
$100 < d \leq 150$	500	70 (M12)	40
$150 < d \leq 200$	850	125 (M16)	50

Quadro 19 - Dimensões mínimas dos perfis de ferro e grampos de suspensão [38].

Diâmetro nominal do tubo – d (mm)	Perfis de ferro (mm)		Grampos de suspensão (mm)	
	galvanizados	não galvanizados	galvanizados	não galvanizados
$d \leq 50$	2,5	3,0	2,5 × 1,5	25 × 3,0
$50 < d \leq 200$	2,5	3,0	2,5 × 2,5	25 × 3,0

3

ESTADO DA ARTE: BIM

3.1. INTRODUÇÃO AOS SOFTWARES CENTRAIS: REVIT E DYNAMO

No segundo capítulo, aborda-se a SCIE em termos de enquadramento regulamentar. Desta forma, é expectável que se introduza o terceiro capítulo com o conceito do BIM. Assim, são apresentados e explorados os *softwares* principais a utilizar na modelação e na otimização (o *Revit* e o *Dynamo*), bem como os seus fluxos de trabalho em 3.2 e ferramentas adicionais em 3.3.

O BIM, acrónimo para *Building Information Modeling* (em português, modelação de informação para a construção), é um processo holístico para a criação e gestão de dados num ambiente de um modelo 3D. Este opera nas várias instâncias do processo construtivo e ciclo de vida da construção, planeamento, projeto, construção, utilização, reabilitação e demolição/desconstrução [58].

O BIM permite criar um modelo tridimensional, que substitui a representação tradicional 2D e, nesse modelo, introduzir toda a informação associada ao projeto, integrando características físicas e funcionais. As equipas (engenheiros, arquitetos e empreiteiros) podem, então, colaborar num ambiente virtual partilhado e todos os membros podem aceder e partilhar a informação essencial em tempo real. Permite, ainda, a colaboração próxima das equipas de projeto e construção, o que potencia a redução dos erros, melhora a eficiência, em termos de custo e tempo, e produz resultados, em geral, melhores.

Devido às vantagens da sua implantação, o uso do BIM tem vindo a aumentar. Dados recolhidos em nove regiões (Austrália, Canadá, França, Alemanha, Japão, Nova Zelândia, Escandinávia, Reino Unido, e Estados Unidos da América), nos setores de arquitetura, engenharia civil, construção e consultoria, indicam que as empresas que utilizam BIM realizaram essa adoção em anos mais recentes, Figura 36.

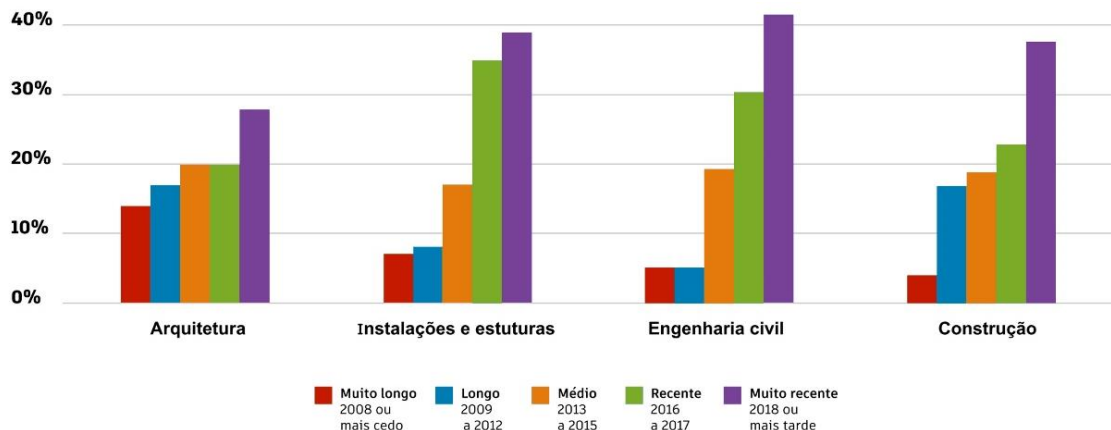


Fig. 36 - Curva de adoção de BIM. Adaptado de [59].

O Revit é um software BIM, da empresa Autodesk, que auxilia as diversas áreas da indústria da construção (engenharia, arquitetura e construção) com os atributos do BIM referidos anteriormente [60]. Na Figura 37, é exposto o layout do Revit.

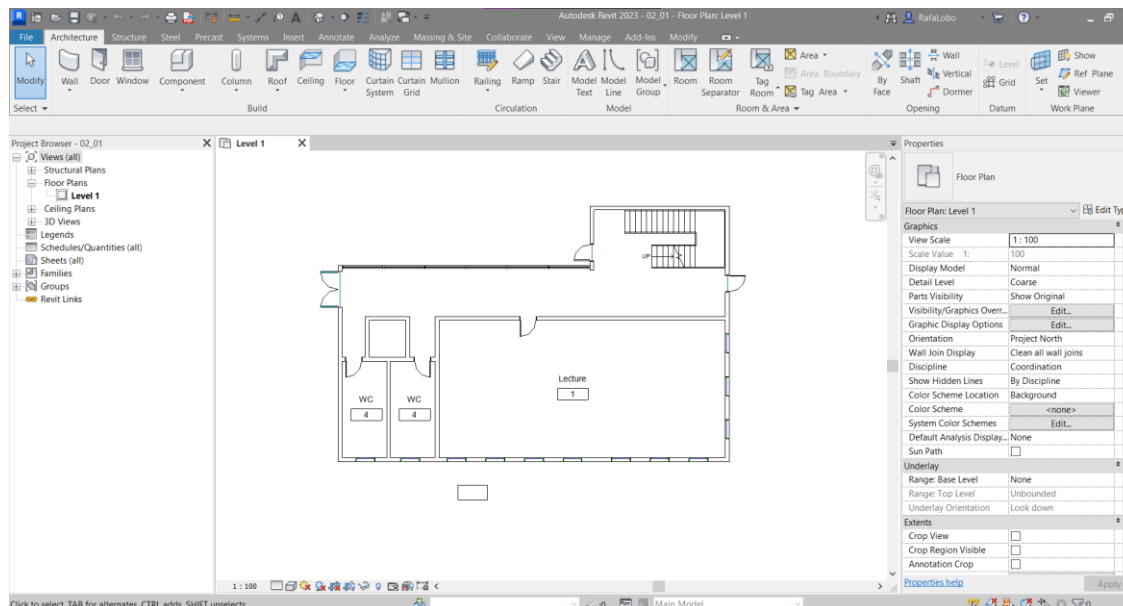


Fig. 37 - Layout do Revit. Fig. do Autor.

O Dynamo é um software de programação visual para BIM, onde se elaboram algoritmos ou, por outros termos, fórmulas de resolução de problemas. Este está integrado no Revit, sendo utilizado para analisar informação, automatizar procedimentos relativos à documentação e modelação, entre outras tarefas. Facilita, também, a interoperabilidade com outros softwares que, sem recurso ao Dynamo, seria impossível ou pouco eficiente. Por esses motivos, é uma ótima ferramenta complementar do Revit. Na Figura 38, é exposto o layout do Dynamo.

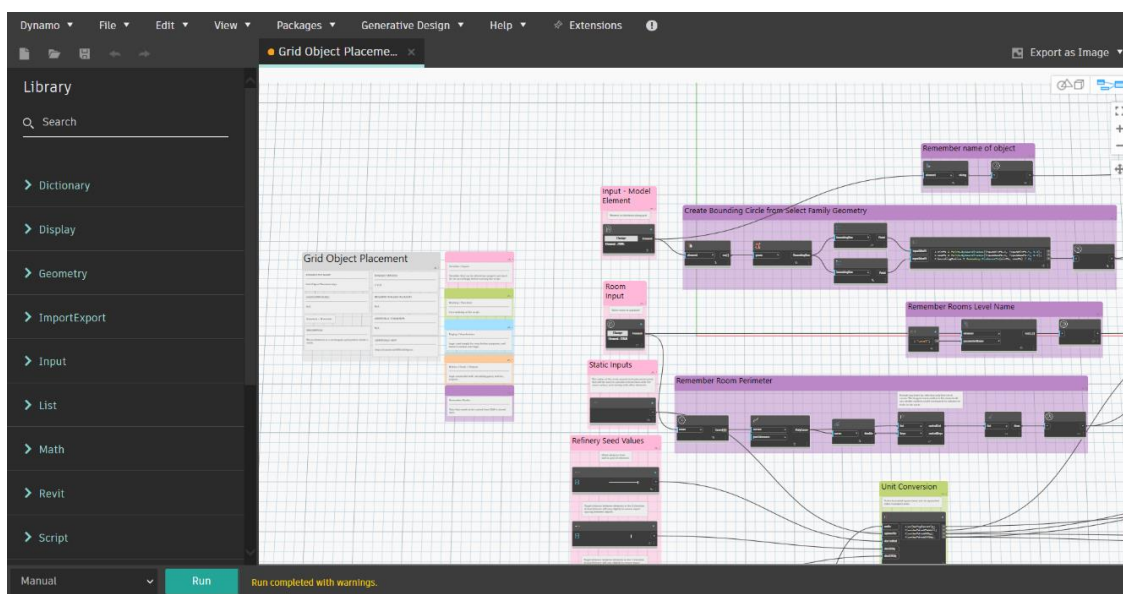


Fig. 38 - Layout do Dynamo. Fig. do Autor.

3.2. FLUXOS DE TRABALHO

3.2.1. REVIT

Para se compreender como funciona o *Revit*, é importante começar por um resumo muito sintético do fluxo do trabalho. Primeiro cria-se um projeto e, a seguir, inicia-se o processo de modelação. Estabelecem-se os *levels* (pisos) e modelam-se os elementos construtivos. Na fase de modelação, há a introdução/edição de informação nos elementos, ou seja, constituem-se/alteram-se propriedades (no *Revit*, parâmetros). Após a fase de modelação das diversas áreas envolvidas no projeto, o processo avança para a revisão. Conclui-se o projeto com a documentação.

É fundamental perceber que todos os elementos no *Revit* pertencem a uma família, daí ser imprescindível entender as diversas famílias. É um aspeto elementar para trabalhar neste *software*, porque a maioria das ações que se realizam no programa envolvem uma ou mais famílias. Estas inserem-se num sistema hierárquico bem definido.

Na Figura 39, é exemplificada essa hierarquia de 4 níveis. No topo, estão presentes as categorias, que estão pré-definidas e não podem ser editadas. No segundo nível, estão as famílias, que agrupam tipos, com a mesma coleção de parâmetros (propriedades), dimensões, materiais, representação gráfica semelhante e outras propriedades em comum. Os tipos, por sua vez, dão origem aos objetos individuais que se criam no modelo, designados por instâncias.

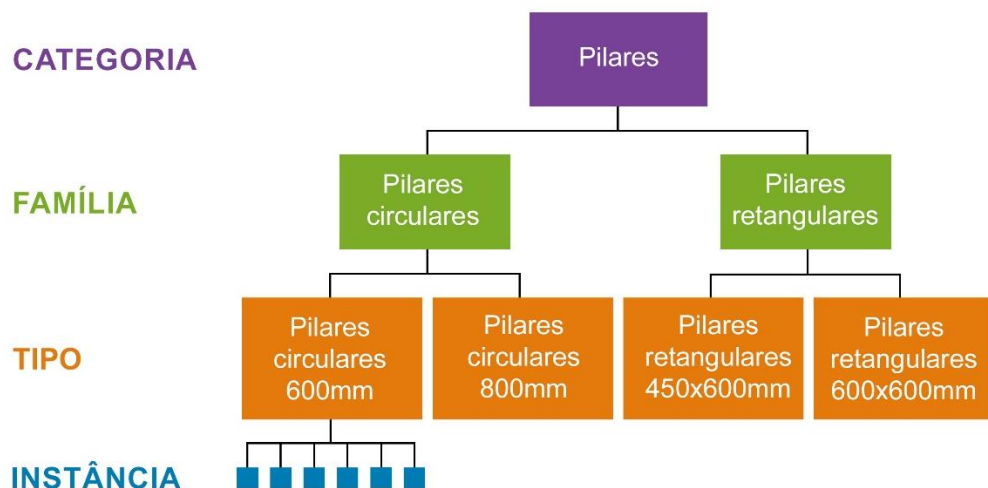


Fig. 39 - Hierarquia de elementos *Revit*. Adaptado de [61].

Os parâmetros estão inerentes às famílias e detêm a informação armazenada nos elementos. Os parâmetros são propriedades como materiais, dimensões, entre outros. Podem ser de dois tipos, quanto ao nível da hierarquia: de instância e de tipo. De tipo são propriedades partilhadas por todas as instâncias (associadas a esse tipo) e todas têm de possuir os mesmos valores. De instância são propriedades que podem ser alteradas individualmente em cada instância, pertencendo a um mesmo tipo.

Existem, também, parâmetros que estão relacionados com o projeto como um todo, ao invés de se focarem em elementos individuais. Estes podem ser de cinco tipos: de sistema, de projeto, de família, partilhados e globais.

Resumidamente, os parâmetros de sistema estão embutidos por predefinição no *Revit* e não podem ser removidos, renomeados ou modificados. Os parâmetros de projeto existem apenas no modelo onde são

criados, podem ser adicionados a qualquer categoria e não podem ser transferidos para outros projetos. Os parâmetros de família existem exclusivamente na família onde são criados. Os parâmetros partilhados são definidos pelo utilizador e podem ser partilhados por vários projetos e, para isso, requerem o uso de um ficheiro de texto independente. Os parâmetros globais são utilizados no modelo para controlar múltiplos parâmetros em simultâneo.

Apesar desta distinção dos parâmetros em dois grupos, existem algumas interseções entre eles. Por exemplo, os parâmetros globais podem definir os valores para os parâmetros de instância ou de tipo. Há situações em que um mesmo parâmetro pode ser utilizado para diferentes finalidades e categorias. Na Figura 40, está presente um exemplo de alguns parâmetros de uma família de *sprinklers*.

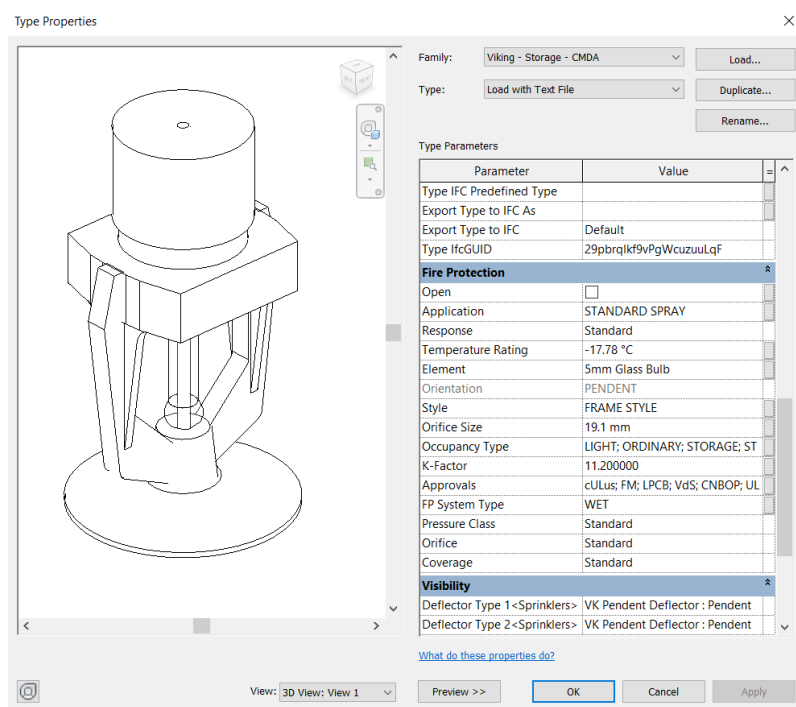


Fig. 40 - Parâmetros de uma família de *sprinklers*. Fig. do Autor.

Existem várias disciplinas de trabalho no interior do *Revit*, sendo as principais: arquitetura, estruturas, MEP (*mechanical, electrical and plumbing*) e coordenação. Os SAEI podem ser modelados recorrendo a um *template* de projeto de MEP.

Um *template* é um ficheiro que pode ser criado pelo utilizador, no entanto, o *software* fornece vários, já predefinidos. Estes contêm definições e parâmetros utilizados para criar projetos. Um *template* de projeto pode incluir *templates* de visibilidade, famílias carregadas, definições estabelecidas (unidades, estilos de linhas, escalas de cada vista, etc.) e geometria, se desejado [62].

É importante dispor de um *template* preparado com as famílias de *sprinklers*, tubagem, acessórios e equipamentos para possibilitar a modelação dos projetos como, por exemplo, o compartimento exemplo no capítulo 5 e o caso de estudo no capítulo 6.

3.2.2. DYNAMO

O *Dynamo* é uma linguagem de programação visual, ou seja, utiliza uma interface visual, ao invés de uma linguagem de código tradicional que utiliza uma interface textual. Esta permite aos utilizadores formarem códigos através de elementos gráficos, os *nodes* (nós) e os *links* (arcos). Foi concebida com o objetivo de ser simples, porque é destinada a arquitetos e engenheiros que, normalmente, não têm muita experiência de programação. É importante acrescentar que o *Dynamo* é *open source*, o que significa que o código de base do *software* é disponibilizado publicamente para que qualquer pessoa possa visualizar, modificar e distribuir o *software*, sem custos de utilização associados.

Os nós são as unidades básicas do *Dynamo*, que representam operações e os arcos são ligações que unem os nós, criando relações entre eles. Na Figura 41, é exemplificado o processo de formação de um grafo. Este é originado através da ligação do *output* (informação de saída) de um nó ao *input* (informação de entrada) de um outro nó.

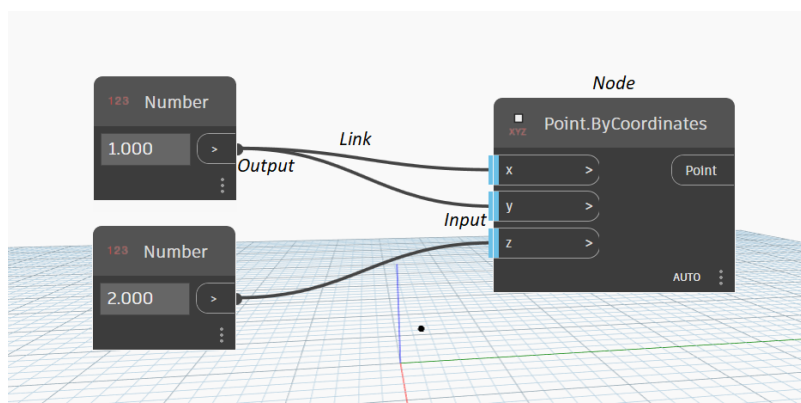


Fig. 41 - Exemplo de um grafo. Fig. do Autor.

Esta linguagem permite aumentar a produtividade, incrementando a performance no que toca a completar tarefas repetitivas e trabalhar com geometria complexa [63].

É importante referir que existem vários *packages* (pacotes) de nós personalizados, disponíveis *online*, realizados por outros autores. Estes são públicos e encontram-se disponíveis para *download*. São utilizados nós no capítulo 5 (“Modelo de otimização de SAEI em *Dynamo*”) dos pacotes: “*MEPover*”, “*DynaMEP*”, “*Data-Shapes*”, “*Rhythm*” e “*archilab*”. São, também, utilizados nós de um pacote, não publicado online, criado pelo autor. Esse pacote é designado por “*RafaLobo*”.

O *Dynamo* pode ser utilizado, por exemplo, para colocar elementos no *Revit*, de forma otimizada/automatizada. Depois de concebido o código para a colocação de elementos, esse pode ser corrido em vários projetos, o que gera uma grande eficiência e economia de tempo. É possível, através do uso de variáveis e operadores matemáticos, calcular o posicionamento e efetuar a colocação de elementos de famílias no *Revit* [64].

Realizam-se grafos no capítulo 5 (“Modelo de otimização de SAEI em *Dynamo*”) com estas ideias para a colocação dos *sprinklers*, da tubagem e acessórios.

3.2.3. PYTHON

Quando se trabalha com o *Dynamo*, há ocasiões onde o código necessita de um maior desenvolvimento, pois os nós existentes não são capazes de corresponder às necessidades do programador e, quando assim acontece, a linguagem de programação *Python* permite ampliar as capacidades do código.

O *Dynamo* tem na sua interface um nó destinado à escrita de código *Python*, designado “*Python Script*” (Figura 42). Este permite realizar certas operações que os nós pré-definidos não conseguem.

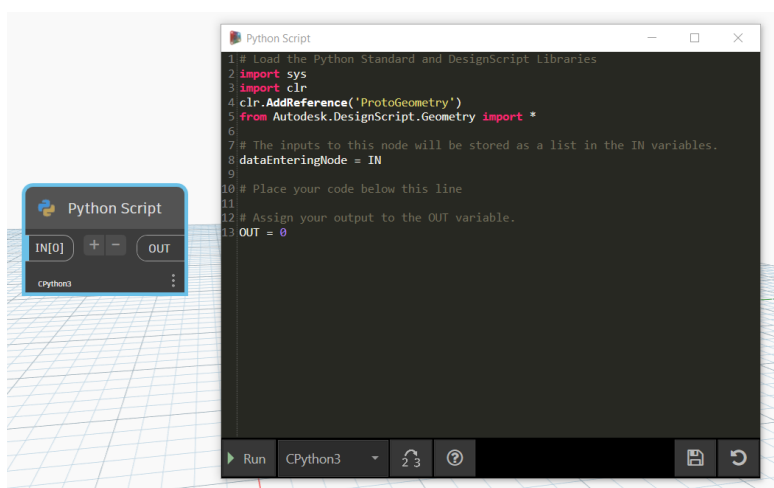


Fig. 42 - Nó “*Python Script*”. Fig. do Autor.

O *Python* é uma linguagem de programação do tipo OOP (*Object Oriented Programming*), em outras palavras, é uma metodologia de programação que separa o desenvolvimento de *software* em diferentes objetos que contêm atributos e métodos. O *Python* adota o conceito de programação orientada a objetos, o que permite que o programa se torne mais simples, dado que pode ser decomposto em objetos independentes contendo o seu próprio código [65].

Tomando como exemplo um *software* para criar geometria, os pontos, as curvas e as esferas são elementos que podem ser definidos pela sua localização no espaço, comprimento ou volume. Cada elemento pode ser considerado um objeto e cada objeto contém os seus atributos e métodos. Atributos que descrevem as suas propriedades e métodos que permitem realizar ações ou comportamentos com esses objetos. Utilize-se uma esfera como exemplo: esta tem atributos como o diâmetro, as coordenadas do centro ou a área que define a descrição da esfera e possui métodos como translação e rotação que permitem realizar ações com a esfera.

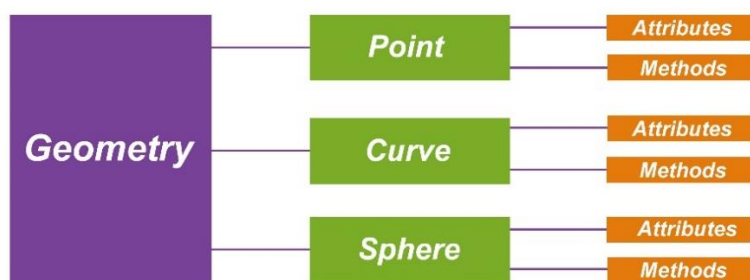


Fig. 43 - Objetos, métodos e atributos. Adaptado de [66].

São definidas classes onde estão contidos todos os atributos e métodos que um objeto pode ter. Por exemplo, quando se cria uma esfera, a classe determina o que é uma esfera e quais os seus atributos e métodos. Quando se criam objetos, criam-se instâncias de uma dada classe. Todas as instâncias têm os mesmos métodos e atributos, no entanto, cada uma tem as suas propriedades individuais, ou seja, valores de atributos diferentes.

Pode aceder-se aos atributos e métodos de um dado objeto com a utilização da *dot notation*. Para o fazer escreve-se no código o nome do objeto terminando com um ponto final e, de seguida, insere-se o nome do atributo ou método. Com a variante de utilizar “()” no final para os métodos, em alguns casos, é necessário introduzir parâmetros no interior dos parênteses para realizar a ação (Figura 44).

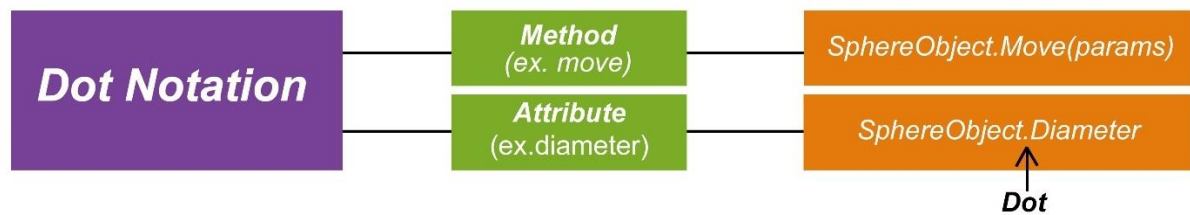


Fig. 44 - Dot Notation. Adaptado de [66].

É fundamental consolidar estes conceitos e processos de funcionamento para poder trabalhar com os nós *python* em simultâneo com os nós pré-definidos do *Dynamo*, de forma a expandir as capacidades do *software* e executar ações no *Revit* de forma mais eficiente.

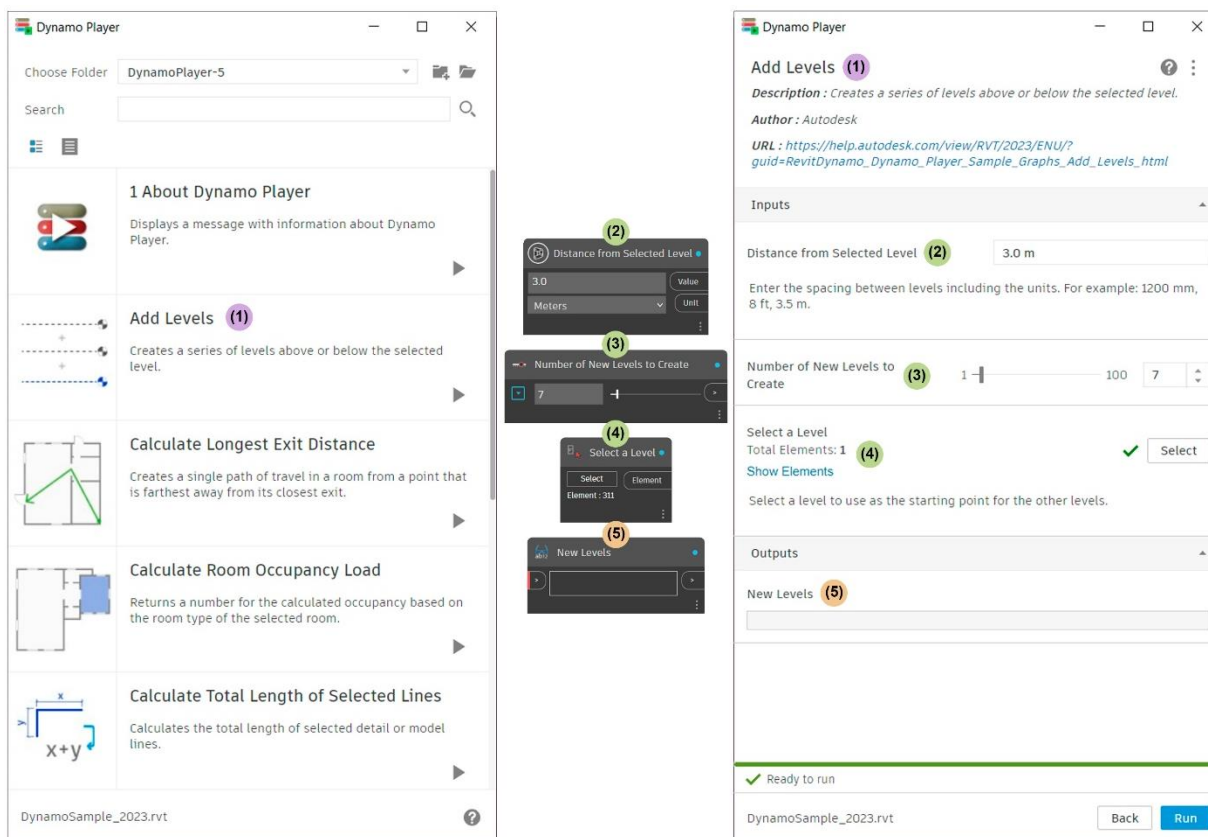
3.2.4. DYNAMO PLAYER

Após a conceção dos grafos em *Dynamo*, com o possível auxílio do *Python* no processo, fica ineficiente proceder à abertura do código em ambiente *Dynamo*, cada vez que se pretende correr o código.

Para colmatar a ineficiência inerente a esse processo, surge o *Dynamo Player*. Este é utilizado para automatizar tarefas manuais por meio de um diálogo fácil de navegar. Uma vez que os fluxos de trabalho são criados, não é necessário ter conhecimentos em *Dynamo* para usar o *Dynamo Player* e executar os grafos [67].

O *Dynamo Player* é, então, uma ferramenta disponível que permite aos usuários executarem grafos e fluxos de trabalho personalizados de forma mais fácil e intuitiva.

Na Figura 45, está exposto o *Dynamo Player* com o exemplo de um grafo amostra da Autodesk. Na imagem da esquerda, está visível o diálogo do *Player* com vários grafos exemplo. Na imagem da direita, vê-se o diálogo referente ao grafo “Add Levels” ((1) destacado a roxo). Os *inputs* e *outputs* aparecem no diálogo uma vez que, previamente, no momento de preparação do código para ser utilizado no *Player*, o autor selecionou os nós e definiu-os como *inputs* ou *outputs*. Na imagem do centro, observa-se os nós *inputs* ((2), (3), (4) destacados a verde) e *output* ((5) destacado a laranja) em ambiente *Dynamo*. Assim que os *inputs* são definidos pelo utilizador, basta premir o botão “Run”, disponível no canto inferior direito do diálogo, para correr o grafo.

Fig. 45 - Diálogos e funcionamento do *Dynamo Player*. Fig. do Autor.

3.3. REVIT FERRAMENTAS

3.3.1. REVIT GENERATIVE DESIGN

O *Generative Design* é um recurso bastante recente que surgiu no *Revit* 2021. É um processo de projeto que utiliza algoritmos computacionais para automatizar as gerações, avaliações e otimizações de soluções de projeto, baseadas em restrições e objetivos estabelecidos pelo projetista [68]. Este é um processo iterativo que potencia a rápida geração e teste de múltiplos cenários de projeto por parte do computador, que, de outra forma, não podiam ser testados por vários motivos, nomeadamente falta de tempo. É uma ferramenta que permite que o projetista explore mais opções de projeto sem o prejuízo de projetar e avaliar cada solução manualmente, porque o *Generative Design* efetua esse processo. Cada iteração é realizada para se ajuizar a qualidade das soluções em relação à última iteração, com base nos critérios estabelecidos pelo projetista. Este recurso proporciona resultados mais eficientes e mais rápidos.

O processo passa por três fases: geração, avaliação e evolução.

A fase de geração consiste na criação de várias hipóteses através do algoritmo, alterando os parâmetros especificados pelo projetista, com base nos critérios para o projeto (como minimizar a quantidade de materiais utilizados, restrições de custo, etc.). Esta fase de conceção da população de soluções é o início do processo de *Generative Design*.

A fase seguinte é a de avaliação das soluções. O algoritmo tem a capacidade de classificar objetivamente uma solução como boa solução ou não. Esta ponderação é estabelecida com um método numérico de

avaliação, segundo o qual os critérios variam para cada caso específico. É possível, então, criar uma hierarquia com base na qualidade das soluções.

Na fase de evolução, com a hierarquia de soluções criada, o algoritmo determina as melhores soluções e as alterações nos parâmetros que as melhoram. A evolução aperfeiçoa novas hipóteses combinando e alterando os parâmetros de forma aleatória para atingir um objetivo.



Fig. 46 - Processo do *Generative Design* [68].

3.3.2. REVIT API

A *Revit API* (*Application Programming Interface*) é um conjunto de ferramentas de programação e interfaces desenvolvido pela *Autodesk*, a empresa que comercializa o *software Revit*. A API do *Revit* permite aos programadores e *developers* personalizar e estender as funcionalidades deste programa. A extensão/personalização das funcionalidades é, então, conseguida através da escrita de código que interage e/ou controla o modelo *Revit*, os seus dados e a interface do utilizador.

A API é baseada na estrutura .NET e suporta várias linguagens de programação como: *C#*, *Visual Basic* e *Python*. A API é um meio que auxilia a criar ferramentas personalizadas, a automatizar tarefas e a integrar o *Revit* com outros *softwares*.

Existe um repositório online chamado “*Revit API Docs*” que contém toda a documentação referente à API do *Revit*. Quem procura desenvolver códigos de programação neste âmbito pode encontrar, neste repositório, informações detalhadas sobre todas as classes de objetos e os seus respetivos métodos e propriedades.

Na Figura 47, é exposta a forma como se pode consultar os métodos e propriedades necessários para a escrita de um código para um determinado propósito.

Por exemplo, pense-se num caso em que o objetivo é colocar um tubo no modelo *Revit* sem recorrer à interface do utilizador. Pretende-se que este seja colocado via *Dynamo* com auxílio de um nó de *Python* (não existe um nó na biblioteca pré-definida do *Dynamo* com essa finalidade).

No primeiro passo, pode ver-se os diferentes “*Namespaces*” que albergam variadas classes de objetos, dos quais se seleciona o *Plumbing Namespace*. No segundo passo, é selecionada a classe dos tubos (“*Pipe class*”). No terceiro passo, após a seleção da classe dos tubos, vê-se os possíveis métodos e propriedades associados a esta classe. Existe um método denominado “*Create Method*” (sinalizado com um retângulo a verde, Figura 47) e, após a sua seleção, ficam expostos os argumentos e a sintaxe necessários para a sua execução.

Desta forma, é possível perceber como cumprir o objetivo da colocação de um tubo no modelo. Resta escrever o código em *Python* para finalizar o objetivo.

EXEMPLO CLASSE “PIPE”, MÉTODOS E PROPRIEDADES

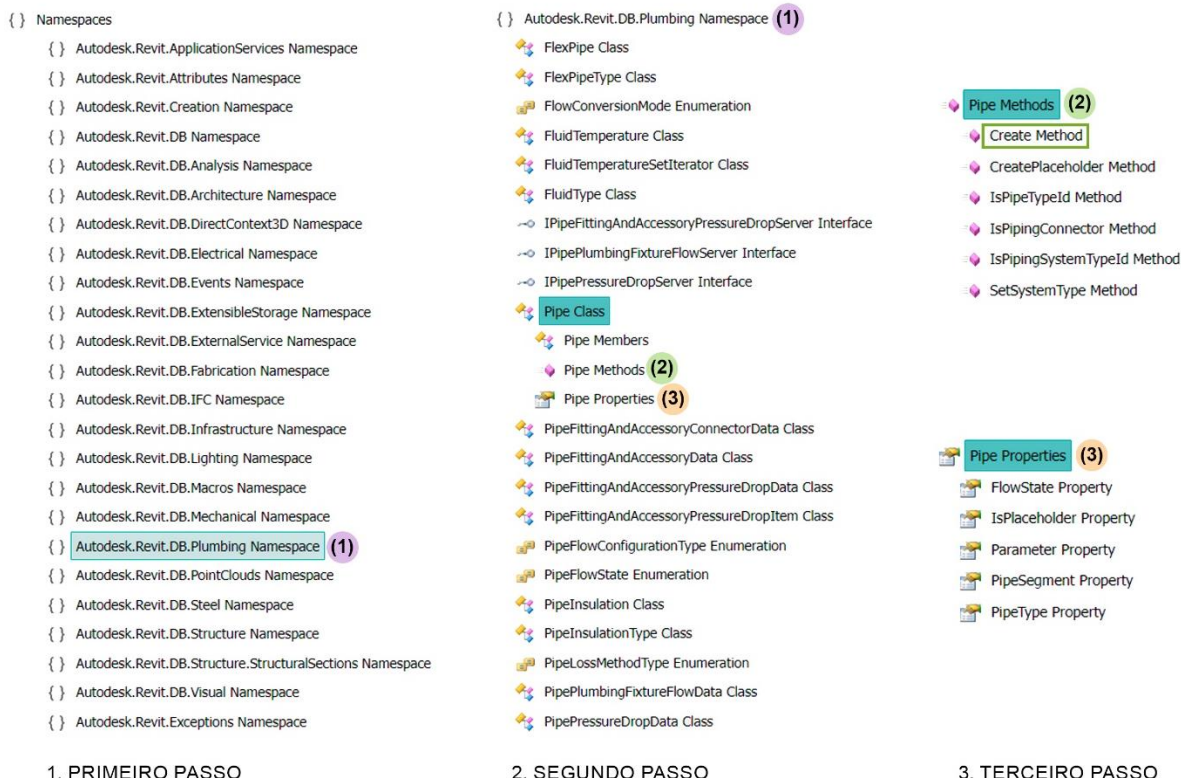


Fig. 47 - Exemplo de navegação no Revit API Docs. Adaptado de [69].

3.3.3. EXTENSÕES/PLUG-INS

3.3.3.1. DiRootsone

A *DiRoots* é uma empresa privada, líder em desenvolvimento de *software* personalizado e conhecida mundialmente pelo seu trabalho com a *Autodesk* (*Revit*, *Forge*, *AutoCAD*, etc.), que disponibiliza, de forma gratuita, o *plug-in* “*DiRootsone*”. O *plug-in* conta com oito funcionalidades (Figura 48) para auxiliar os utilizadores do *Revit* a tornar o seu fluxo de trabalho mais eficiente.

DiRoots.One 1.3.0



Fig. 48 - Funcionalidades da extensão *DiRootsOne* [70].

A ferramenta “*ParaManager*” é importante para este trabalho, porque ajuda a agilizar o processo de criação e atribuição de parâmetros às diversas famílias e categorias. Esta permite criar parâmetros,

modificar os existentes, exportar e importar parâmetros do/para *Excel* ou para o ficheiro de texto associado aos parâmetros partilhados. Permite, também, gerir os parâmetros no projeto e na edição de famílias.

Na Figura 49, é exibido o diálogo que permite interagir com a ferramenta.

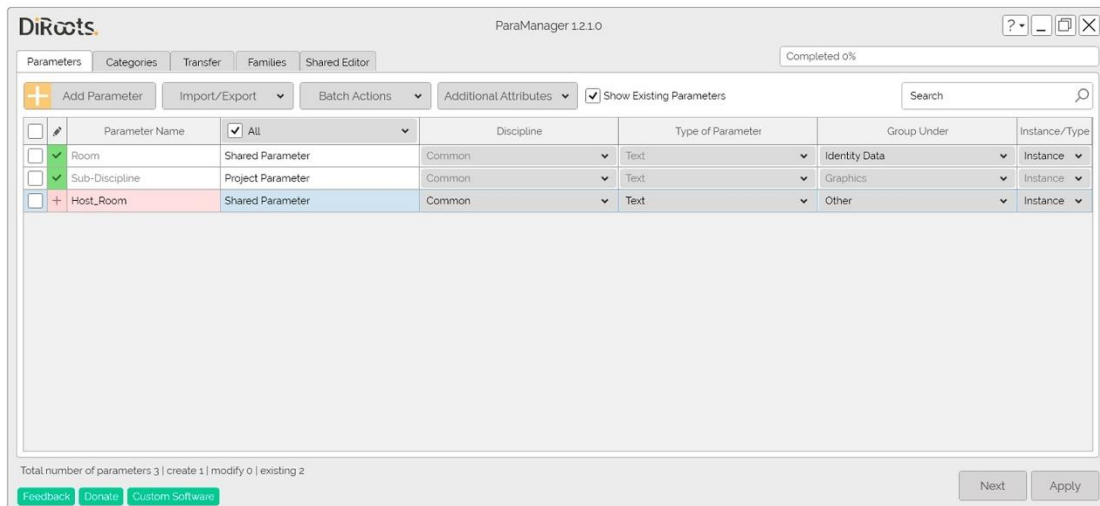


Fig. 49 - Diálogos das ferramentas "ParaManager" (esq.) e "FamilyReviser" (dir.). Fig. do Autor.

A ferramenta "FamilyReviser" é relevante, visto que possibilita a criação de repositórios de famílias, nomeadamente famílias de *sprinklers* e acessórios de tubagem que podem ser, posteriormente, importados para outros projetos, de forma mais ágil e eficiente.

A ferramenta "OneFilter" é, também, influente, dado que permite filtrar e organizar elementos no *Revit*, com base nos valores dos seus parâmetros e colori-los no modelo, o que torna mais fácil a sua identificação visual.

3.3.3.2. Speckle

O *Speckle* é uma infraestrutura digital *open source* destinada para qualquer projeto em 3D [71]. O *speckle* permite interoperabilidade entre *softwares*, gestão de dados, colaboração em tempo real, gestão de atualizações de modelos e automação.

Este *software* torna possível a transferência de dados entre diferentes plataformas de modelação e visualização, como *Revit*, *Dynamo*, *AutoCAD*, *Civil3D*, *QGIS*, *SAP2000*, *Blender*, *Rhino*, *Grasshopper*, entre outras. Permite, ainda, a transferência de dados com o *Excel*. Foi criado para facilitar a colaboração em projetos de *design* e engenharia, possibilitando que os usuários partilhem informações em tempo real. No *Speckle*, os dados podem ser partilhados e atualizados em tempo real em diferentes locais e plataformas, visto que estes ficam armazenados na nuvem. Assim, quando um usuário exporta um objeto numa plataforma de modelação, o *Speckle* capta as informações do objeto, nomeadamente a sua geometria, o material e outros atributos relevantes, e envia esses dados para a nuvem.

No caso do *Revit*, o *plug-in* do *Speckle* permite exportar para a nuvem a geometria de, por exemplo, compartimentos, paredes, tubos, *sprinklers*, entre outros, e a categoria, família, parâmetros, mais outras

informações existentes associadas a esses elementos. Possibilita, também, a importação da nuvem para o modelo *Revit* de toda a informação que tenha sido exportada previamente para a nuvem.

Antes da exportação de dados, é necessário criar uma *stream*, ou seja, algo que se assemelha a uma pasta na nuvem onde se alocam as várias versões exportadas do modelo. Com a *stream* criada e após ser feita a exportação de um modelo, fica disponível um *link* partilhável de acesso ao modelo na nuvem.

É possível visualizar o modelo em 3D sem o uso do *Revit*. Mais ainda, é exequível aceder ao modelo a partir de qualquer aparelho, por exemplo, telemóvel ou tablet, o que concede acesso fácil ao modelo e às suas informações por parte de qualquer pessoa envolvida no projeto, desde a conceção até à execução.

Na Figura 50, está demonstrado o acesso ao compartimento exemplo (exposto no capítulo 5) na nuvem do *Speckle*, através de um *smartphone*. Na imagem, é possível observar que se selecionou uma das paredes do modelo para se aceder a algumas das informações disponíveis.

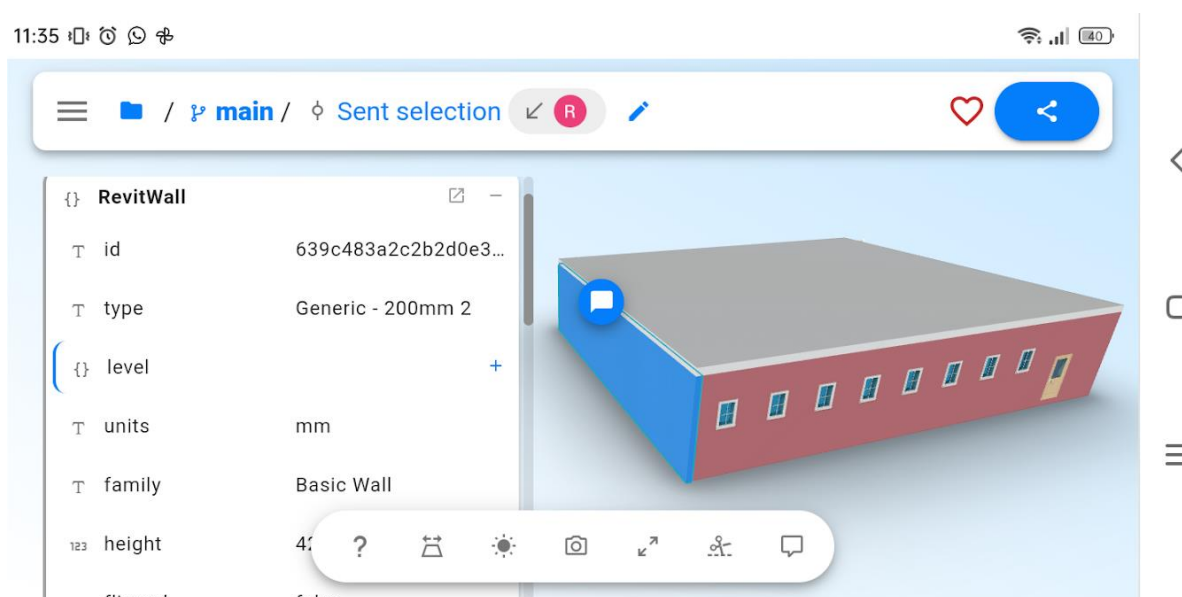


Fig. 50 - Acesso a um modelo *Revit* via *Speckle*. Fig. do Autor.

4

DIMENSIONAMENTO DE SAEI

4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O cálculo hidráulico das redes de *sprinklers* na presente dissertação é concretizado por meio da folha de cálculo da APTA (Associação de Produtores de Tubos e Acessórios), representada na Figura 51 (ampliada no Anexo A, Figura A1): “APTA-RI Sprinklers-Dimensionamento de Instalações Aço 2022”. O cálculo com esta folha é possível (apenas) para redes ramificadas. Esta permite realizar o cálculo pelo RT-SCIE [19], pela NP EN 12845 [38], pela NFPA 13 [34] ou por qualquer outro referencial normativo.

Dimensionamento de Sistema de Extinção Automática (Rede de Sprinklers Tipo Úmida)

Ref.º

Descrição:

Data:

Características e Especificações	Decisões	Adoptado	Observações		Especificações calculadas		Tubagem de aspiração		
1.1	Quadro 3	Classe e Grupo de Risco/Utilização Tipo	Utilização Tipo VII (RTSCIE)	Dimensionamento em conformidade com RTSCIE	1.6	Alastamento máx. entre sub-ramais com sprinklers: D = 3,05 m	5	Diâmetro interior: D _{int,asp} = 155,1 mm	3,00
1.2	Quadro 3	Área de operação	A _{op}	m ²	216	Nº total máximo de sprinklers em func. simultâneo: NS _{simult} = 20 sprink.		Comprimento: L _{comp,asp} = 3 m	
1.3	Quadro 3	Área de cobertura por sprinkler	A _{sp}	m ²	10,8	Nº sprinklers em func. simultâneo por sub-ramal: NS _{subramal} = 5 sprink.		Comp. equiv. local: L _{comp,asp} = 7 m	
1.4	Quadro 3	Nº total mín. sprinklers em func. simultâneo	N _{simult}	20	Nº de Sprinklers imposto pelo utilizador: NS _{imposto} = 20	1.7	Altura - aspiração: h _{asp} = -1 m	-1,00	
1.5	Quadro 3	Espacamento entre sprinklers	S	m	3,50	Sprinklers em disposição normal (máx. = 4 m)		Comp. equiv. total: L _{comp,asp} = 3 m	
1.6	Quadro 3	Caudal unitário a dispensar por sprinkler	Q _{unit}	l/min.m ²	5,00	Caudal mín. exigido no sprinkler mais desfavorável: Q _{desfav} = 56,6 l/min		Perda carga total: ΔP _{total,asp} = -9,472 kPa	
1.7	Quadro 3	Coefficiente de caudal do sprinkler DN 15	K _{misco}	l/min.m ²	K = 80	Pressão dinâmica no sprinkler mais desfavorável: P _{din,asp} = 50 kPa		Avaliação global	Dimensionamento Conforme
1.8	Quadro 3	Perda de carga dinâmica admissível - EN 12845	ΔP _{admiss}	kPa	50,0	Comprimento real crítico, relativo ao trajecto GP-S1: L _{crítico} = 59,8 m			
1.9	Quadro 3	Velocidade de escoamento admissível - EN 12845	V _{adm}	m/s	6,0	Assumido por defeito nos ramos principais: ΔP _{ramos RP} = 126,1 kPa			
1.10	Quadro 3	Porcentagem de afectação - perda de carga locais	J _{li}	%	0%	Gama imposta: 0,5 ≤ V ≤ 6 m/s			
1.11	Quadro 3	Opção de dimensionamento com recurso à fórmula de Flamant (X)	X		120	Para cálculo do comprimento equivalente			
1.12	Quadro 3	Constante de rugosidade aplicável à água fria	C		120	Cálculo efectuado através da fórmula de Hazen & Williams			
1.13	Quadro 3	Selecionar unidades de pressão				Valor típico para tubagens em aço preto / galvanizado			
1.14	Quadro 3	Selecionar unidades de caudal				Pressões expressas em kPa			
1.15	Quadro 3	Selecionar unidades de velocidade							
1.16	Quadro 3	Selecionar unidades de comprimento							
1.17	Quadro 3	Selecionar unidades de área							
1.18	Quadro 3	Selecionar unidades de densidade							
1.19	Quadro 3	Selecionar unidades de potência							
1.20	Quadro 3	Selecionar unidades de volume							
1.21	Quadro 3	Selecionar unidades de massa							
1.22	Quadro 3	Selecionar unidades de energia							
1.23	Quadro 3	Selecionar unidades de força							
1.24	Quadro 3	Selecionar unidades de pressão							
1.25	Quadro 3	Selecionar unidades de caudal							
1.26	Quadro 3	Selecionar unidades de velocidade							
1.27	Quadro 3	Selecionar unidades de comprimento							
1.28	Quadro 3	Selecionar unidades de área							
1.29	Quadro 3	Selecionar unidades de densidade							
1.30	Quadro 3	Selecionar unidades de potência							
1.31	Quadro 3	Selecionar unidades de volume							
1.32	Quadro 3	Selecionar unidades de massa							
1.33	Quadro 3	Selecionar unidades de energia							
1.34	Quadro 3	Selecionar unidades de força							
1.35	Quadro 3	Selecionar unidades de pressão							
1.36	Quadro 3	Selecionar unidades de caudal							
1.37	Quadro 3	Selecionar unidades de velocidade							
1.38	Quadro 3	Selecionar unidades de comprimento							
1.39	Quadro 3	Selecionar unidades de área							
1.40	Quadro 3	Selecionar unidades de densidade							
1.41	Quadro 3	Selecionar unidades de potência							
1.42	Quadro 3	Selecionar unidades de volume							
1.43	Quadro 3	Selecionar unidades de massa							
1.44	Quadro 3	Selecionar unidades de energia							
1.45	Quadro 3	Selecionar unidades de força							
1.46	Quadro 3	Selecionar unidades de pressão							
1.47	Quadro 3	Selecionar unidades de caudal							
1.48	Quadro 3	Selecionar unidades de velocidade							
1.49	Quadro 3	Selecionar unidades de comprimento							
1.50	Quadro 3	Selecionar unidades de área							
1.51	Quadro 3	Selecionar unidades de densidade							
1.52	Quadro 3	Selecionar unidades de potência							
1.53	Quadro 3	Selecionar unidades de volume							
1.54	Quadro 3	Selecionar unidades de massa							
1.55	Quadro 3	Selecionar unidades de energia							
1.56	Quadro 3	Selecionar unidades de força							
1.57	Quadro 3	Selecionar unidades de pressão							
1.58	Quadro 3	Selecionar unidades de caudal							
1.59	Quadro 3	Selecionar unidades de velocidade							
1.60	Quadro 3	Selecionar unidades de comprimento							
1.61	Quadro 3	Selecionar unidades de área							
1.62	Quadro 3	Selecionar unidades de densidade							
1.63	Quadro 3	Selecionar unidades de potência							
1.64	Quadro 3	Selecionar unidades de volume							
1.65	Quadro 3	Selecionar unidades de massa							
1.66	Quadro 3	Selecionar unidades de energia							
1.67	Quadro 3	Selecionar unidades de força							
1.68	Quadro 3	Selecionar unidades de pressão							
1.69	Quadro 3	Selecionar unidades de caudal							
1.70	Quadro 3	Selecionar unidades de velocidade							
1.71	Quadro 3	Selecionar unidades de comprimento							
1.72	Quadro 3	Selecionar unidades de área							
1.73	Quadro 3	Selecionar unidades de densidade							
1.74	Quadro 3	Selecionar unidades de potência							
1.75	Quadro 3	Selecionar unidades de volume							
1.76	Quadro 3	Selecionar unidades de massa							
1.77	Quadro 3	Selecionar unidades de energia							
1.78	Quadro 3	Selecionar unidades de força							
1.79	Quadro 3	Selecionar unidades de pressão							
1.80	Quadro 3	Selecionar unidades de caudal							
1.81	Quadro 3	Selecionar unidades de velocidade							
1.82	Quadro 3	Selecionar unidades de comprimento							
1.83	Quadro 3	Selecionar unidades de área							
1.84	Quadro 3	Selecionar unidades de densidade							
1.85	Quadro 3	Selecionar unidades de potência							
1.86	Quadro 3	Selecionar unidades de volume							
1.87	Quadro 3	Selecionar unidades de massa							
1.88	Quadro 3	Selecionar unidades de energia							
1.89	Quadro 3	Selecionar unidades de força							
1.90	Quadro 3	Selecionar unidades de pressão							
1.91	Quadro 3	Selecionar unidades de caudal							
1.92	Quadro 3	Selecionar unidades de velocidade							
1.93	Quadro 3	Selecionar unidades de comprimento							
1.94	Quadro 3	Selecionar unidades de área							
1.95	Quadro 3	Selecionar unidades de densidade							
1.96	Quadro 3	Selecionar unidades de potência							
1.97	Quadro 3	Selecionar unidades de volume							
1.98	Quadro 3	Selecionar unidades de massa							
1.99	Quadro 3	Selecionar unidades de energia							
1.100	Quadro 3	Selecionar unidades de força							
1.101	Quadro 3	Selecionar unidades de pressão							
1.102	Quadro 3	Selecionar unidades de caudal							
1.103	Quadro 3	Selecionar unidades de velocidade							
1.104	Quadro 3	Selecionar unidades de comprimento							
1.105	Quadro 3	Selecionar unidades de área							
1.106	Quadro 3	Selecionar unidades de densidade							
1.107	Quadro 3	Selecionar unidades de potência							
1.108	Quadro 3	Selecionar unidades de volume							
1.109	Quadro 3	Selecionar unidades de massa							
1.110	Quadro 3	Selecionar unidades de energia							
1.111									

Normalmente, os *sprinklers* são instalados numa malha regular, na qual os troços dos ramais têm comprimentos semelhantes ou iguais. Além disso, esses ramais fornecem água a *sprinklers* com o mesmo fator "K", o que permite estabelecer uma relação entre eles. Ao dimensionar os troços do ramal mais crítico, é possível atribuir diâmetros aos outros ramais com base no primeiro. Isso significa que o cálculo hidráulico é realizado para dimensionar os troços de tubagem no caminho hidráulicamente mais longo, desde o RASI até ao *sprinkler* na situação mais crítica. Em seguida, os diâmetros dos demais ramais (não críticos) são atribuídos com base nesse cálculo.

Para melhor compreender o processo de dimensionamento, estruturou-se o capítulo da seguinte forma: passos que antecedem o cálculo hidráulico; definição das características de projeto segundo o regulamento português, em 4.2.1, e segundo a norma europeia, em 4.2.2; dimensionamento dos troços de tubagem, em 4.3; dimensionamento da bomba e do reservatório segundo o regulamento português, em 4.4.2, e segundo a norma europeia, em 4.4.3.

Passos que antecedem o cálculo hidráulico:

1. Definição das UT's (utilizações-tipo) no edifício e das suas respectivas CR's (categorias de risco);
2. Avaliação das prescrições regulamentares de instalação de SAEI, abordadas em 2.1.4.6;
3. Definição do referencial normativo a utilizar;
4. Definição geométrica da rede e colocação dos elementos (*sprinklers*, ramais, coletores, acessórios, etc.);

Pode-se, após estes passos iniciais, avançar para a definição das características de projeto. Primeiro, de acordo com o RT-SCIE [19] e, segundo, de acordo com a NP EN 12845 [38]. Após a definição das características de projeto, ambas seguem um procedimento conjunto de dimensionamento da tubagem, baseadas maioritariamente em critérios da NP EN 12845 [38], por falta de especificação técnica do RT-SCIE [19]. Depois do dimensionamento dos troços de tubagem, segue-se o dimensionamento da bomba e do reservatório, segundo o RT-SCIE [19] e segundo a NP EN 12845 [38].

Passos de dimensionamento:

5. Definição das características de projeto, em 4.2;
6. Dimensionamento dos troços de tubagem, em 4.3;
7. Dimensionamento da bomba e do reservatório, em 4.4.

Os procedimentos seguintes foram elaborados com auxílio do manual do projetista #2 [18] ("Dimensionamento hidráulico de tubagens de aço em redes húmidas de segurança contra incêndios com *sprinklers*").

4.2. DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJETO

4.2.1. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO O RT-SCIE [19]

Passo 1A: extração da densidade de descarga (q_{unit}), da área de operação (A_o), do número de aspersores em funcionamento simultâneo (NS_{sim}), do calibre dos aspersores (que permite determinar o K dos *sprinklers*) e do tempo de descarga, a partir do Quadro 7, que dita os critérios de dimensionamento de SAEI por água, ver 2.3.1.

Passo 2A: determinação do coeficiente de descarga dos *sprinklers* "K", com recurso ao Quadro 20, através do calibre dos aspersores retirado do Quadro 7.

Quadro 20 - Dimensões e características dos *sprinklers* [18].

Dimensão nominal (DN)	Fator de escoamento (K)	Dimensão da rosca (R)
10	57 ± 5%	3/8
15	80 ± 5%	1/2
20	115 ± 5%	3/4

Passo 3A: definição da área de cobertura máxima por *sprinkler* (A_s), através da Equação 4.

$$A_s = \frac{A_o}{NS_{sim}} \quad (4)$$

- A_o – área de operação da rede de *sprinklers* [m²];
- A_s – área de cobertura máxima por *sprinkler* [m²];
- NS_{sim} – número de *sprinklers* em funcionamento simultâneo [adimensional].

Passo 4A: definição dos espaçamentos máximos entre *sprinklers*: perpendicular ao espaçamento entre ramais (S) e coincidente com o espaçamento entre ramais (D). Estes são determinados pelo projetista de acordo com a Equação 5. Na Figura 34, em 2.4.5, observam-se graficamente estas dimensões.

Nota: O regulamento português não determina espaçamentos máximos e mínimos entre *sprinklers*, nem tem em conta a colocação de *sprinklers* em relação a elementos estruturais. A definição dos espaçamentos S e D é deixada ao critério do projetista. É comum que os projetistas procurem uma distribuição de *sprinklers* que faça com que a área de cobertura dos aspersores se aproxime de um quadrado, de acordo com Equação 6. Dessa forma, em geral, há uma distribuição mais uniforme da água descarregada pelo sistema.

$$S \times D = A_s \quad (5)$$

$$S = D = \sqrt{A_s} \quad (6)$$

- A_s – área de cobertura máxima por *sprinkler* [m²];
- D – espaçamento entre *sprinklers* coincidente com o espaçamento entre ramais [m];
- S – espaçamento entre *sprinklers* perpendicular ao espaçamento entre ramais [m].

Passo 5A: definição do caudal mínimo necessário por *sprinkler* (Q_{minS}), através da Equação 7.

$$Q_{minS} = A_s \times q_{unit} \quad (7)$$

- A_s – área de cobertura máxima por *sprinkler* [m²];

- $Q_{\min S}$ – caudal mínimo necessário por *sprinkler* [l/min];
- q_{unit} – densidade de descarga por *sprinkler* [(l/min)/m²].

Passo 6A: definição da pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede ($P_{\min S}$), segundo a Equação 8 (baseada na Equação 1, em 2.2.2.5, convertendo a pressão de bar para KPa).

$$P_{\min S} = 100 \times \left(\frac{Q_{\min S}}{K} \right)^2 \quad (8)$$

- K – constante de escoamento do *sprinkler* [l/min.bar^{1/2}];
- $P_{\min S}$ – pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede [KPa];
- $Q_{\min S}$ – caudal mínimo necessário por *sprinkler* [l/min].

4.2.2. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NP EN 12845 [38]

Segue-se um procedimento para sistemas completamente calculados.

Passo 0B: determinação da classificação de risco, segundo a NP EN 12845 [38], ver 2.4.1.

Passo 1B: extração da área de cobertura máxima por *sprinkler* (A_s), do Quadro 13, em 2.4.5, determinação do coeficiente de descarga dos *sprinklers* “ K ”, com recurso ao Quadro 16, em 2.4.7 e definição do tempo mínimo de autonomia, ver 2.4.3.

Passo 2B: definição dos espaçamentos máximos entre *sprinklers*: perpendicular ao espaçamento entre ramais (S) e coincidente com o espaçamento entre ramais (D), semelhante ao passo 4A do dimensionamento pelo RT-SCIE [19]. Estes são definidos de forma que se verifique a Equação 5.

Neste caso, a norma dita várias regras, abordadas em 2.4.5, de espaçamentos máximos e mínimos e regras de posicionamento face a elementos estruturais. O caso em que S iguala D (Equação 6) pode-se verificar, desde que as regras da norma sejam cumpridas.

Passo 3B: definição da área de operação, de acordo com os critérios de projeto hidráulico abordados no Quadro 11, em 2.4.2, para LH, OH e HHP. No caso de HHS, é necessário consultar os quadros da norma, pois os critérios de projeto variam consoante as configurações do armazenamento (ST’s).

Passo 4B: determinação do número de *sprinklers* em funcionamento simultâneo (NS_{sim}), através da Equação 9.

$$NS_{\text{sim}} = \frac{A_o}{A_s} \quad (9)$$

- A_o – área de operação da rede de *sprinklers* [m²];
- A_s – área de cobertura máxima por *sprinkler* [m²];
- NS_{sim} – número de *sprinklers* em funcionamento simultâneo [adimensional].

Passo 5B: determinação da densidade de descarga (q_{unit}), de acordo com a Equação 11.

Esta é o maior valor entre a densidade de projeto extraída do Quadro 11, em 2.4.2, (nos casos de LH, OH e HHP, para HHS consultar os quadros da norma) e a densidade de descarga calculada para o grupo de quatro *sprinklers* (Equação 10), na situação de pressão mais desfavorável, como abordado em 2.4.6.3. Para determinar o caudal no grupo de quatro *sprinklers*, é necessário utilizar a Equação 8 e resolvê-la em ordem ao caudal mínimo necessário por *sprinkler* ($Q_{\min S}$), utilizando o “K” dos *sprinklers*, determinado no passo 1B, e consultando os valores para a pressão nos *sprinklers* mais a jusante da rede ($P_{\min S}$), em 2.4.6.3 (0,70 bar para LH, 0,35 bar para OH ou 0,50 bar para HHP e HHS).

$$q_{\text{unit.4s}} = \frac{Q_{4s}}{A_{4s}} \quad (10)$$

$$q_{\text{unit}} = \text{Máx} (q_{\text{proj}}; q_{\text{unit.4s}}) \quad (11)$$

- A_{4s} – área de cobertura do grupo de 4 *sprinklers* [m^2];
- Q_{4s} – caudal do grupo de 4 *sprinklers* [l/min];
- q_{proj} – densidade de projeto [mm/min];
- q_{unit} – densidade de descarga por *sprinkler* [$(\text{l/min})/\text{m}^2$];
- $q_{\text{unit.4s}}$ – densidade de descarga do grupo de 4 *sprinklers* [$(\text{l/min})/\text{m}^2$].

Passo 6B: definição do caudal mínimo necessário por *sprinkler* ($Q_{\min S}$), através da Equação 7, presente no passo 5A, e determinação da pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede ($P_{\min S}$), utilizando a Equação 8, presente no passo 6A.

Nota: Executar este passo apenas se a densidade de descarga (q_{unit}) igualar a densidade de projeto (q_{proj}). Se a densidade de descarga (q_{unit}) igualar a do cálculo para o grupo de quatro *sprinklers* ($q_{\text{unit.4s}}$), o valor da pressão no *sprinkler* mais a jusante adota o valor mínimo (0,70 bar para LH, 0,35 bar para OH ou 0,50 bar para HHP e HHS). Quanto ao caudal mínimo necessário por *sprinkler* ($Q_{\min S}$), esse assume o valor previamente calculado no passo 5B.

4.3. DIMENSIONAMENTO DOS TROÇOS DE TUBAGEM: PROCEDIMENTO CONJUNTO

4.3.1. DIMENSIONAMENTO PARA RAMAIS

O procedimento seguinte foi elaborado com auxílio do manual do projetista #2 [18] (“Dimensionamento hidráulico de tubagens de aço em redes húmidas de segurança contra incêndios com *sprinklers*”).

Ambos os procedimentos anteriores terminam com a definição da pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede ($P_{\min S}$). A $P_{\min S}$ corresponde à pressão no final do troço de tubagem (P_f) mais a jusante da rede (Equação 12). Relembrando que o cálculo é feito desde o *sprinkler* mais distante, em termos hidráulicos, até ao RASI, o dimensionamento é feito de forma sequencial, de jusante para montante.

$$P_{\min S} = P_f \quad (12)$$

- P_f – pressão no fim (a jusante) do troço de tubagem [KPa];
- $P_{\min S}$ – pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede [KPa].

Passo 7: dimensionamento do troço 1, trecho do ramal que abastece o *sprinkler* hidráulicamente mais distante.

Inicialmente, é necessário extrair da geometria e componentes da rede o comprimento real do troço de tubagem (L_{real}), o desnível no troço de tubagem (h) e os comprimentos equivalentes correspondentes às perdas de carga localizadas ($L_{eqlocal}$), através da identificação de acessórios e válvulas. Acrescentam-se aos anteriores o número total de *sprinklers* abastecido pelo troço (NS), para efeitos de pré-dimensionamento, e o número de *sprinklers* em funcionamento simultâneo (NS_{sim}), para efeitos de cálculo.

Com esses dados, é possível determinar o comprimento equivalente total do troço de tubagem (L_{eq}), através da Equação 13, e a perda de carga estática ($\Delta P_{estática}$), através da Equação 14 (idêntica à Equação 3, em 2.4.6.1, no entanto a unidade de pressão é convertida de bar para KPa).

$$L_{eq} = L_{real} + L_{eqlocal} \quad (13)$$

$$\Delta P_{estática} = 9,81 \times h \quad (14)$$

- $\Delta P_{estática}$ – perda de carga estática no troço de tubagem [KPa];
- L_{eq} – comprimento equivalente total do troço de tubagem [m];
- $L_{eqlocal}$ – comprimento equivalente correspondente às perdas de carga localizadas [m];
- L_{real} – comprimento real do troço de tubagem [m];
- h – desnível no troço de tubagem [m].

Para prosseguir no cálculo, é necessário atribuir um DN (diâmetro nominal) inicial. Neste caso, utilizam-se os DN's dos sistemas pré-calculados da NP EN 12845 [38] (ver 2.4.6.2) como método de pré-dimensionamento. Desta forma, é exequível o cálculo da perda dinâmica no troço de tubagem ($\Delta P_{dinâmica}$), através da Equação 15 (Fórmula de Hazen-Williams, semelhante à Equação 2, em 2.4.6.1, no entanto, a unidade de pressão é convertida de bar para KPa).

Determina-se, também, a pressão no início (a montante) do troço de tubagem (P_i), para efetuar o dimensionamento dos troços seguintes (ver passo 8).

Nota: Para o dimensionamento do troço 1, o caudal no troço de tubagem ($Q_{troço}$) corresponde ao caudal mínimo necessário por *sprinkler* (Q_{minS}), determinado anteriormente nas características de projeto.

$$\Delta P_{dinâmica} = 9,81 \times 61,7 \times 10^5 \times \frac{Q_{troço}^{1,85}}{C^{1,85} \times D_i^{4,87}} \times L_{eq} \quad (15)$$

$$P_i = P_{minS} + \Delta P_{estática} + \Delta P_{dinâmica} \quad (16)$$

- $\Delta P_{dinâmica}$ – perda de carga dinâmica no troço de tubagem [KPa];
- $\Delta P_{estática}$ – perda de carga estática no troço de tubagem [KPa];
- C – constante para o tipo e estado da tubagem [adimensional];

- D_i – diâmetro interno do troço de tubagem [mm];
- P_{mins} – pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede [KPa];
- L_{eq} – comprimento equivalente total do troço de tubagem [m];
- P_i – pressão no início (a montante) do troço de tubagem [KPa];
- P_{mins} – pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede [KPa].

É estabelecido pela NP EN 12845 [38] o limite máximo da velocidade de escoamento para 6 m/s e recomenda-se, por defeito, que a velocidade mínima não seja inferior a 0,5 m/s. A velocidade de escoamento é determinada por via da Equação 17.

$$V = 66,7 \times \frac{Q_{troço}}{\pi \times D_i^2} \quad (17)$$

- D_i – diâmetro interno do troço de tubagem [mm];
- $Q_{troço}$ – caudal no troço de tubagem [l/min];
- V – velocidade de escoamento no troço de tubagem [m/s].

O dimensionamento do troço de tubagem fica concluído se os limites mínimo e máximo estabelecidos para a velocidade forem respeitados.

Passo 8: dimensionamento sequencial dos troços de tubagem restantes até ao coletor.

Para o troço (1 + n) procede-se da seguinte forma: inicialmente, obtém-se a pressão no fim do troço de tubagem (P_f), através da pressão no início do troço de tubagem (P_i) imediatamente a jusante aplicando a Equação 18.

$$P_i (\text{troço } n) = P_f (\text{troço } (1 + n)) \quad (18)$$

- P_f – pressão no fim (a jusante) do troço de tubagem [KPa];
- P_i – pressão no início (a montante) do troço de tubagem [KPa].

Em seguida, à semelhança do passo 7, extrai-se, do troço de tubagem, o comprimento real (L_{real}), o desnível (h) e os comprimentos equivalentes correspondentes às perdas de carga localizadas ($L_{eqlocal}$). Acrescentam-se, aos anteriores, o número total de *sprinklers* abastecido pelo troço (NS) e o número de *sprinklers* em funcionamento simultâneo (NS_{sim}).

Com esses dados extraídos e com o diâmetro nominal (DN) inicial pré-dimensionado, calculam-se as perdas de pressão estática ($\Delta P_{estática}$) e dinâmica ($\Delta P_{dinâmica}$) e a pressão no início do troço de tubagem (P_i) através das Equações 13, 14, 15 e 19.

$$P_i^{troço (1+n)} = P_f^{troço (1+n)} + \Delta P_{estática} + \Delta P_{dinâmica} \quad (19)$$

- $\Delta P_{dinâmica}$ – perda de carga dinâmica no troço de tubagem [KPa];

- $\Delta P_{estática}$ – perda de carga estática no troço de tubagem [KPa];
- P_f – pressão no fim (a jusante) do troço de tubagem [KPa];
- P_i – pressão no início (a montante) do troço de tubagem [KPa].

Calcula-se, também, o caudal de serviço no *sprinkler* abastecido pelo troço (QS), através da Equação 20, estima-se o caudal no troço de tubagem ($Q_{troço}$) pela Equação 21 e determina-se a velocidade (V) pela Equação 17.

$$QS = K \times \sqrt{\frac{P_f}{100}} \quad (20)$$

$$Q_{troço} = QS + Q_{acumul\ a\ jusante} \quad (21)$$

- K – constante de escoamento do *sprinkler* [l/min.bar^{1/2}];
- P_f – pressão no fim (a jusante) do troço de tubagem [KPa];
- QS – caudal de serviço do *sprinkler* [l/min];
- $Q_{acumul\ a\ jusante}$ – caudal acumulado a jusante do troço de tubagem [l/min];
- $Q_{troço}$ – caudal no troço de tubagem [l/min].

O dimensionamento do troço de tubagem fica concluído se os limites mínimo e máximo estabelecidos para a velocidade forem respeitados.

4.3.2. DIMENSIONAMENTO PARA COLETORES

Após o dimensionamento dos ramais, segue-se o dimensionamento sequencial dos troços de tubagem restantes até a Central de Bombagem para Serviço de Incêndio (CBSI).

Passo 9: procedimento para o troço 1 do coletor (mais a jusante).

Com os ramais críticos já dimensionados, sabe-se o caudal no troço 1 do coletor ($Q_{troço}$), dado que, na utilização da Equação 21, o caudal de serviço no *sprinkler* abastecido pelo troço (QS) é nulo, logo o caudal no troço 1 ($Q_{troço}$) corresponde ao caudal acumulado a jusante nos ramais que este abastece. Conhece-se, também, a pressão no final do troço do coletor (P_f), pois corresponde à pressão inicial do troço imediatamente a jusante (P_i) (Equação 18). Com o caudal no troço e com a pressão inicial do troço imediatamente a jusante, determina-se, através da Equação 22, o fator “K” do ramal/ramais que o troço 1 do coletor tem de abastecer.

$$K_{ram\ crit} = \frac{Q_{ram\ crit}}{\sqrt{\frac{P_i^{ram\ crit}}{100}}} \quad (22)$$

- $K_{ram\ crit}$ – constante de escoamento do ramal crítico [l/min.bar^{1/2}];

- P_i – pressão no início (a montante) do troço de tubagem [KPa];
- $Q_{ram\ cr\acute{it}}$ – caudal de cálculo no ramal crítico [l/min].

O dimensionamento dos troços de tubagem do(s) coletor(es) fica concluído quando se verificarem os critérios enunciados, no passo seguinte, que englobam a performance conjunta da tubagem.

Passo 10: procedimento para o troço (1 + n) do coletor.

O início do procedimento iguala o procedimento dos ramais no que diz respeito à extração de dados, atribuição de diâmetros pré-dimensionados e cálculo de perdas de pressão. Difere, porém, no cálculo dos caudais.

O fator “K” do ramal/ramais crítico(s), que o troço 1 do coletor tem de abastecer, é utilizado no cálculo do caudal dos ramais não críticos, no qual o “K” do ramal crítico representa o “K” do ramal (ou ramais) que o troço (1 + n) do coletor tem de abastecer, além dos ramais a jusante. Portanto, o cálculo do caudal no ramal não crítico abastecido pelo troço (1 + n) do coletor, conectado a este no final do troço, é feito recorrendo à Equação 23. A Equação 21 converte-se na Equação 24, para determinar o caudal no troço (1 + n), através da adição do caudal acumulado no troço n do coletor (imediatamente a jusante) ao caudal no ramal não crítico.

$$Q_{ram\ n\acute{o}\ cr\acute{it}} = K_{ram\ cr\acute{it}} \times \sqrt{\frac{P_f^{tro\c{o}\ (1+n)\ do\ coletor}}{100}} \quad (23)$$

$$Q_{tro\c{o}\ (1+n)\ do\ coletor} = Q_{ram\ n\acute{o}\ cr\acute{it}} + Q_{acumul\ a\ jusante} \quad (24)$$

- $K_{ram\ cr\acute{it}}$ – constante de escoamento do ramal crítico [l/min.bar^{1/2}];
- P_f – pressão no fim (a jusante) do troço de tubagem [KPa];
- $Q_{acumul\ a\ jusante}$ – caudal acumulado a jusante do troço de tubagem [l/min];
- Q_{ram} – caudal de cálculo no ramal não crítico [l/min];
- $Q_{tro\c{o}}$ – caudal no troço de tubagem [l/min].

No que diz respeito aos coletores, determina-se mais um fator: a perda de pressão dinâmica acumulada ao nível dos troços do coletor (Equação 25).

$$\Delta P_{acum\ coletor} = \sum \Delta P_{din\acute{a}mica} \quad (25)$$

- $\Delta P_{acum\ coletor}$ – perda de carga dinâmica acumulada no coletor [KPa];
- $\Delta P_{din\acute{a}mica}$ – perda de carga dinâmica no troço de tubagem [KPa].

É assumido, por defeito, um limite máximo de 50 KPa, para a perda de pressão dinâmica nos coletores.

O dimensionamento da rede fica concluído se os limites mínimo e máximo estabelecidos para a velocidade forem respeitados por todos os troços de tubagem (ramais e coletores) e se os coletores cumprirem a perda de pressão máxima.

4.4. DIMENSIONAMENTO DA BOMBA E DO RESERVATÓRIO

4.4.1. DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES DE CAUDAL E PRESSÃO

O procedimento seguinte foi elaborado com auxílio do manual do projetista #2 [18] (“Dimensionamento hidráulico de tubagens de aço em redes húmidas de segurança contra incêndios com *sprinklers*”).

Passo 11: Necessidade de caudal e pressão da rede de *sprinklers*.

A necessidade de caudal para a situação mais crítica em pressão é obtida pelo caudal acumulado no troço de tubagem mais a montante, previamente dimensionado (Equação 26). A necessidade de pressão é obtida pela soma da pressão no início do troço de tubagem (P_i) mais a montante com a perda de carga na tubagem de aspiração (Equação 27).

$$Q_{\max} = Q_{\text{troço}} \text{ (mais a montante)} \quad (26)$$

$$P_{\max} = P_i^{\text{troço mais a montante}} + \Delta P_{\text{aspiração}} \quad (27)$$

- $\Delta P_{\text{aspiração}}$ – perda de carga total na tubagem de aspiração [KPa];
- P_i – pressão no início (a montante) do troço de tubagem [KPa];
- $P_{\max}$ – necessidade de pressão da rede de *sprinklers* [KPa];
- $Q_{\max}$ – necessidade de caudal da rede *sprinklers* [l/min];
- $Q_{\text{troço}}$ – caudal no troço de tubagem [l/min].

4.4.2. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO O RT-SCIE [19]

Passo 12A: dimensionamento da bomba e reservatório.

De acordo com a NT 15 [56], as bombas devem ser dimensionadas para garantir as condições de pressão e caudal necessárias ao abastecimento simultâneo das instalações servidas pela CBSI, para o cenário de incêndio mais gravoso, que ocorra num único compartimento de fogo. Determina-se o caudal nominal (Q_n), aplicando a Equação 28.

O caudal de alimentação das redes de *sprinklers* (QSS), segundo as NT 14 e 15 [55, 56], é obtido através da multiplicação da densidade de descarga (q_{unit}) pela área de operação (A_o). É necessário criticar esse método de calcular o caudal, pois não representa a necessidade de caudal real, nem para a situação crítica em pressão (mais desfavorável), nem para a situação crítica em caudal (mais favorável), ver passo 12B, em 4.4.3, para uma melhor explicação destes conceitos.

$$Q_n = Q + Q_H + Q_{SS} + Q_C + Q_K \quad (28)$$

- $Q=Q_1$ (se apenas existirem redes de 1ª intervenção) ou $Q=Q_2$ (se existirem redes de 1ª e 2ª intervenção);

- Q1 – caudal de alimentação das redes de 1ª intervenção [l/min];
- Q2 – caudal de alimentação das redes de 2ª intervenção [l/min];
- QC – caudal de alimentação das cortinas de água [l/min];
- QH – caudal de alimentação dos hidrantes [l/min];
- QK – caudais de outros consumidores não previstos na legislação [l/min];
- Qn – caudal nominal [l/min];
- QSS – caudal de alimentação das redes de *sprinklers* [l/min].

A bomba deve ser capaz de fornecer, para além do ponto de trabalho nominal, com base nos critérios da NT 15 [56] (e da NP EN 12845 [38] nos sistemas pré-calculados), 140 % do caudal nominal (ponto de trabalho de sobrecarga) a uma pressão não inferior a 70 % da pressão nominal.

Na Figura 52, é apresentada a curva característica de uma bomba (a roxo) que é facultada pelo fabricante, o ponto de trabalho nominal (a verde) e a condição necessária adicional: o ponto de trabalho de sobrecarga (na convergência das linhas laranjas).

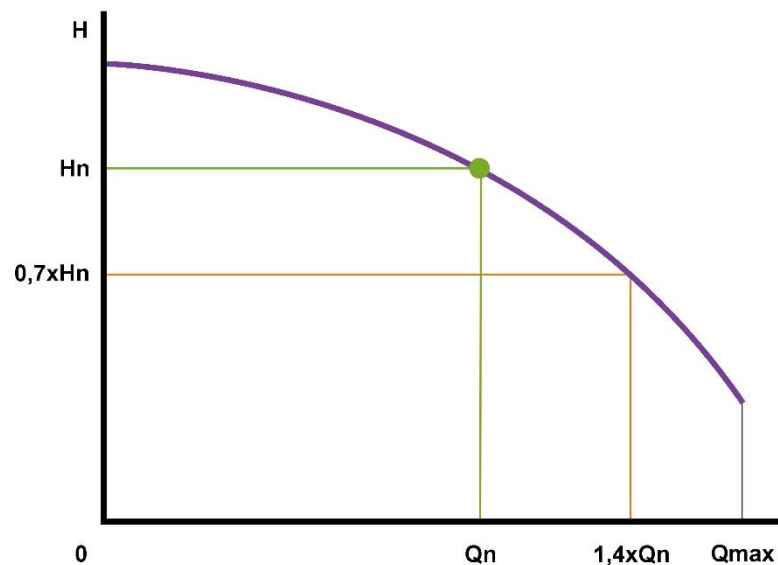


Fig. 52 - Curva característica de uma bomba. Adaptado de [56].

A capacidade do RASI deve ser calculada tendo em atenção o cenário de incêndio mais gravoso, que ocorra num único compartimento de fogo, considerando o número de dispositivos em funcionamento e a autonomia requerida para os mesmos, em função da categoria de risco da utilização-tipo [55] (Equação 29).

$$C = Q \times T + QH \times TH + QSS \times TS + QC \times TC + QK \times TK \quad (29)$$

- Q.T=Q1.T1 (se apenas existirem redes de 1ª intervenção) ou Q.T=Q2.T2 (se existirem redes de 1ª e 2ª intervenção);
- Q1 – Caudal de alimentação das redes de 1ª intervenção [l/min];
- Q2 – Caudal de alimentação das redes de 2ª intervenção [l/min];

- QC – Caudal de alimentação das cortinas de água [l/min];
- QH – Caudal de alimentação dos hidrantes [l/min];
- QK – caudais de outros consumidores não previstos na legislação [l/min];
- QSS – Caudal de alimentação das redes de *sprinklers* [l/min];
- T1 – tempo de autonomia das redes de 1ª intervenção [min];
- T2 – tempo de autonomia das redes de 2ª intervenção [min];
- TC – tempo de autonomia das cortinas de água [min];
- TH – tempo de autonomia dos hidrantes [min];
- TK – tempos de autonomia de outros consumidores não previstos na legislação [min];
- TS – tempo de autonomia das redes de *sprinklers* [min].

4.4.3. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NP EN 12845 [38]

Passo 12B: dimensionamento da bomba e reservatório.

As fontes de abastecimento de água combinadas devem ser concebidas para abastecer mais do que um sistema fixo de extinção de incêndios, como, por exemplo, uma instalação combinada de hidrantes, bocas de incêndio e *sprinklers* [38].

As fontes de abastecimento combinadas devem cumprir as condições seguintes:

- os sistemas devem ser integralmente calculados;
- a fonte de abastecimento deve ser capaz de fornecer o somatório dos caudais máximos calculados em simultâneo para cada sistema. Os caudais devem ser corrigidos até à pressão requerida pelo sistema mais exigente;
- a duração do abastecimento não deve ser inferior à requerida pelo sistema mais exigente;
- as ligações de tubagens entre as fontes de abastecimento de água e os sistemas devem ser duplicadas.

O reservatório de capacidade total tem de ter uma capacidade efetiva, no mínimo igual, à capacidade de água especificada, que corresponde ao caudal máximo requerido multiplicado pela autonomia especificada (ver 2.4.3).

Neste caso, nos sistemas completamente calculados da norma, o ponto de trabalho de sobrecarga não é 140% do caudal nominal, mas é, sim, a interseção entre a curva da instalação mais crítica, em termos de caudal, com a curva da bomba.

Uma instalação de *sprinklers* tem duas curvas características: uma curva crítica em pressão (zona desfavorável – hidraulicamente mais distante) e uma curva crítica em caudal (zona favorável – hidraulicamente mais próxima).

O ponto de dimensionamento da bomba corresponde à pressão e ao caudal, na situação em que todos os *sprinklers* da área de operação mais desfavorável estão em funcionamento (necessidades de caudal e pressão determinadas no passo 11). No entanto, o caudal máximo real solicitado pelo sistema é definido pela situação em que todos os *sprinklers* da área de operação mais favorável estão em funcionamento, ou seja, após a definição da bomba, determina-se esse caudal máximo solicitado na interseção da curva da bomba com a curva da instalação crítica em caudal.

Tome-se a Figura 53, como exemplo. Pode ver-se o cenário de dimensionamento de uma bomba. Na Figura estão presentes 3 curvas: a curva prevista da fonte de pressão (a azul), a curva da instalação crítica em pressão (a vermelho) e a curva da instalação crítica em caudal (a verde). O ponto de

dimensionamento da bomba (crítico em pressão) corresponde ao ponto “PT.1” (laranja) e o ponto crítico em caudal corresponde ao ponto “PT.2” (amarelo).

Nota: Nesta explicação, assume-se que não existem outros dispositivos de combate de incêndio além da rede de *sprinklers*.

O reservatório, no caso dos sistemas completamente calculados da NP EN 12845 [38], é, assim, obtido pelo caudal máximo requerido (ponto “PT.2”) multiplicado pela autonomia especificada.

As curvas características da instalação são definidas pela Equação 30 e a curva da bomba é facultada pelo fabricante.

$$P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{estática total}} + C_{\text{inst}} \times Q_{\text{max}}^{1,85} \quad (30)$$

- $\Delta P_{\text{estática total}}$ – perda de carga estática total da rede de *sprinklers* [KPa];
- C_{inst} – constante hidráulica da rede de *sprinklers* [KPa/(l/min)^{1,85}];
- P_{total} – necessidade de pressão total na rede de *sprinklers* [KPa];
- Q_{max} – necessidade de caudal da rede *sprinklers* [l/min].

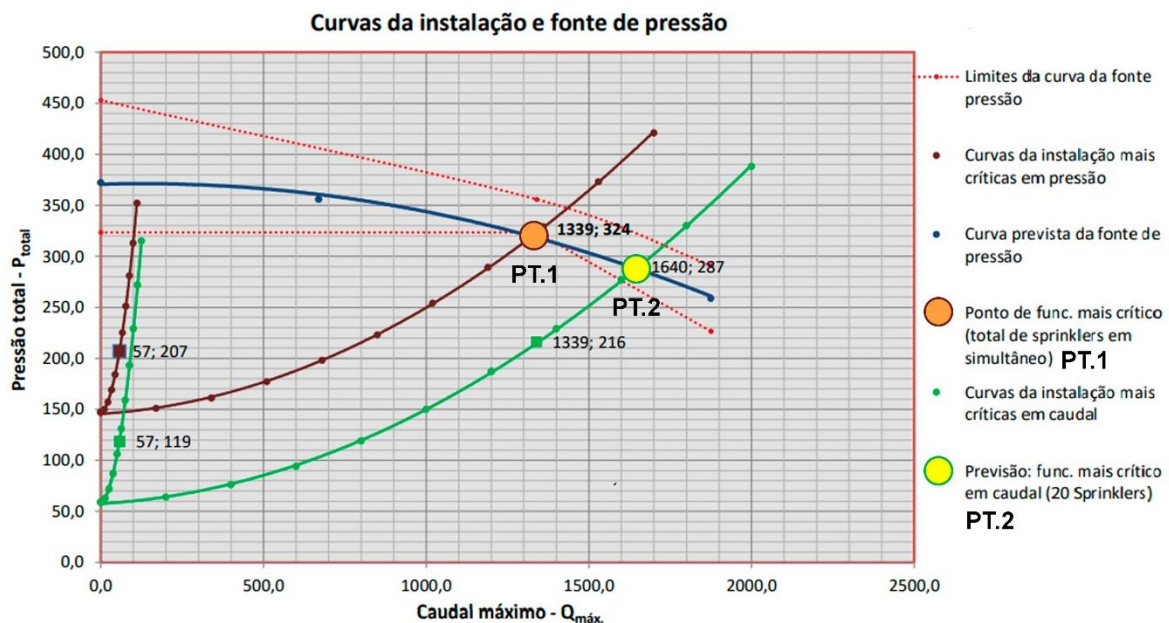


Fig. 53 - Curvas características da instalação e da bomba: folha de calc. APTA. Fig. do Autor.

Em suma, o volume do reservatório, no caso do regulamento português, é condicionado pela densidade de descarga e pela área de operação e, no caso dos sistemas completamente calculados da NP EN 12845 [38], é condicionado pelas necessidade de caudal e pressão e pela (curva da) bomba.

Passo 13: Dimensionamento da tubagem de aspiração.

No que diz respeito à tubagem de aspiração, a NT 15 [56] e a NP EN 12845 [38] preconizam ideias semelhantes. Ambas indicam o seguinte:

A tubagem de aspiração, incluindo válvulas e acessórios, deve ser dimensionada de forma a garantir que o NPSH (*Net Positive Suction Head*), disponível à entrada da bomba, supera o NPSH requerido, no mínimo, em um metro, nas condições de caudal máximo e de temperatura máxima da água.

Deve, também, ser ou horizontal ou com uma pequena inclinação, subindo no sentido da bomba, por forma a evitar a criação de bolhas de ar no seu interior.

Em **aspiração positiva** (nível do fluído no reservatório de alimentação está a uma cota superior à do nível do eixo da flange da aspiração da bomba):

- O diâmetro da tubagem de aspiração deve ser, pelo menos, 65 mm e deve ser tal que a velocidade não exceda 1,8 m/s, nas condições de caudal máximo;
- A interligação de tubagens de aspiração de diversas bombas só é permitida se forem colocadas válvulas de seccionamento que permitam, através da sua manobra, que cada uma das bombas possa trabalhar isoladamente, sempre que necessário. As interligações devem calcular-se tendo em consideração os caudais requeridos.

Em **aspiração negativa** (nível do fluído no reservatório de alimentação está a uma cota inferior à do nível do eixo da flange da aspiração da bomba):

- O diâmetro da tubagem de aspiração deve ser, pelo menos, 80 mm e deve ser tal que a velocidade não exceda 1,5 m/s nas condições de caudal máximo. Além disso, deve ser instalada uma «válvula de pé» com retenção no ponto mais baixo da tubagem de aspiração;
- A altura entre o nível mínimo da água no reservatório e o eixo da bomba não deve exceder 3,20 m.

Quando existir mais do que uma bomba em aspiração negativa, não é permitido o recurso a coletores de aspiração, devendo as tubagens de aspiração ser independentes (não interligadas) e de fácil remoção.

A NT 15 [56] acrescenta que o diâmetro da tubagem de aspiração deve ser calculado de acordo com a Equação 31.

$$D_i \geq 4,6 \times \sqrt{\frac{Q_{\text{sobrecarga}}}{V}} \quad (31)$$

- D_i – diâmetro interno do troço de tubagem [mm];
- $Q_{\text{sobrecarga}}$ – caudal de sobrecarga ($Q_n \times 1,4$) [l/min];
- V – velocidade de escoamento no troço de tubagem [m/s].

5

MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE
SAEI EM DYNAMO

5.1. PROCESSO / ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo é relativo ao desenvolvimento de código em *Dynamo*. Formula-se um modelo original de concepção de redes de *sprinklers*, com dois objetivos em mente: a otimização e a eficiência. As ferramentas utilizadas no processo são: *Revit*, *Dynamo*, *Python* e *Excel*.

Antes de se avançar para a programação, é necessário decompor o objetivo maior (a concepção de um programa de otimização de SAEI) em dois problemas: o problema geométrico e o problema hidráulico.

O pensamento do problema geométrico segue a corrente de jusante para montante, com o intuito de implementar automaticamente vários elementos da rede de *sprinklers*, começando pelos aspersores. O procedimento geométrico decompõe-se em cinco fases:

1. Colocação automática dos *sprinklers*;
2. Colocação automática dos troços de tubagem *sprinkler*-ramal;
3. Modelação manual do coletor principal;
4. Colocação automática dos ramais;
5. Colocação automática dos acessórios (joelhos, “tês” e cruzetas).

O problema hidráulico passa por organizar a tubagem para fazer o cálculo na folha de cálculo da APTA, (ver capítulo 4 para compreender o dimensionamento) e, após ter o cálculo feito, colocar os diâmetros nominais na tubagem do modelo de forma eficiente. O procedimento hidráulico decompõe-se em quatro fases:

1. Estruturação da tubagem:
 - a. Definição do caminho crítico;
 - b. Organização dos ramais por níveis.
2. Exportação da informação da tubagem do *Revit* para o *Excel*;
3. Cálculo hidráulico na folha de cálculo da APTA;
4. Importação dos diâmetros nominais do *Excel* para o modelo *Revit*:
 - a. Atribuição dos diâmetros à tubagem;
 - b. Ajuste dos diâmetros dos acessórios.

No desenho e no dimensionamento da rede, respeitam-se as prescrições do RT-SCIE [19] ou da NP EN 12845 [38], dependendo do referencial normativo escolhido para a abordagem ao projeto.

Durante o processo de concepção do modelo, foram elaborados oito grafos. Estes são explicados adiante, de forma concisa, com ênfase nos resultados e não na programação.

5.2. OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA

5.2.1. EDIFÍCIO / COMPARTIMENTO EXEMPLO

Para a conceção dos grafos em *Dynamo* e exemplificação dos seus resultados, criou-se um compartimento exemplo (Figura 54). Este é constituído por quatro paredes, um pavimento e uma cobertura plana. O compartimento retangular tem área útil de 300 m² (20m x 15m) e pé direito de 3,70 m. O espaço categoriza-se como UT VII e a sua classificação de risco é de nível três, segundo o regulamento português (ver 2.1.4). No que diz respeito ao risco, classifica-se como OH2, segundo a NP EN 12845 [38] (ver 2.4.1).



Fig. 54 - Vista tridimensional do compartimento exemplo. Fig. do Autor.

5.2.2. COLOCAÇÃO DOS SPRINKLERS

No primeiro passo do caminho para a resolução do problema geométrico, surge a ideia de colocar as cabeças dos *sprinklers* de forma automática, num dado espaço a proteger, respeitando o espaçamento máximo entre aspersores, ditado pela classificação de risco do espaço. Com a particularidade importante de reduzir o número de elementos colocados e em simultâneo ser complacente com as prescrições normativas, o sistema torna-se mais económico com a garantia de segurança dada pelo cumprimento da norma.

Avança-se, então, para a preparação da resposta ao problema, tendo como base a configuração *standard* e as regras de espaçamento e localização de *sprinklers* de acordo com a NP EN 12845 [38], abordadas em 2.4.5, ou de acordo com o RT-SCIE [19], abordadas em 2.3.1.

A primeira ação a realizar é criar um *room* no *Revit*, isto é, após ter um edifício modelado, selecionar o botão que permite definir os *rooms* e definir os espaços. A segunda ação é criar um parâmetro partilhado (ver 3.2.1), de forma a ser possível utilizar o parâmetro noutros projetos, para alojar o *room* anfitrião na tubagem e nos acessórios, neste caso com o nome “*Host_Room*”. Assim, avança-se para o grafo A.

O grafo A (Figura 55) está elaborado de forma a aceitar cinco *inputs*: a altura a colocar os *sprinklers* (em metros); a classificação de risco do espaço, segundo a NP EN 12845 [38], ou a UT, segundo o RT-SCIE [19]; o espaço a colocar os *sprinklers* (*room*); a família de *sprinklers*; a opção (*input* de verdadeiro e falso) de colocar os *sprinklers* associados a um *host* (registra nos parâmetros dos *sprinklers* o *room* hospedeiro). Devolve, como *output*, além de colocar os *sprinklers*, o número de aspersores colocados e a distância entre *sprinklers*.

Nota: Os grafos desenvolvidos neste modelo de otimização são todos únicos, ou seja, apresentam código distinto, no entanto, a sua organização é semelhante. Os *inputs* são agrupados e representados com a cor

roxa, as etapas de transformação e processamento desses elementos são representadas a verde e os resultados, ou *outputs*, são destacados com a cor laranja.

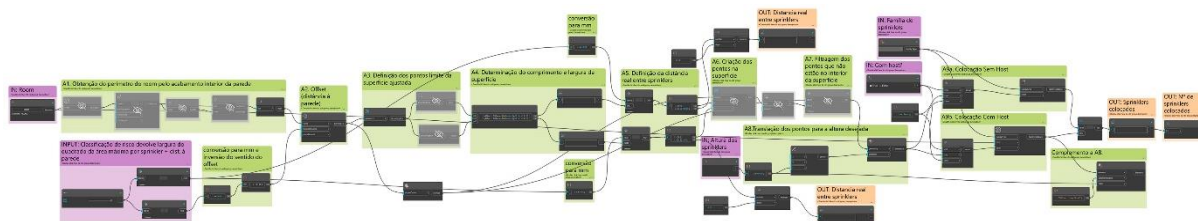


Fig. 55 - Grafo A: colocação de *sprinklers* (Dynamo). Fig. do Autor.

Na fase antecedente à elaboração do código, formulou-se a visualização mental de um compartimento como bidimensional, em planta, e como uma área delimitada por um conjunto de paredes.

O programa começa por obter, no ambiente de trabalho do *Dynamo*, um conjunto de linhas, que definem o perímetro do *room*, pelo acabamento interior das paredes que o delimitam (linhas a roxo, Figura 56).

Em seguida, com a informação do *input* da classificação de risco, obtêm-se dois dados importantes: o primeiro é a distância máxima dos *sprinklers* às paredes e o segundo a distância máxima entre *sprinklers*. O primeiro valor é utilizado para transformar o perímetro inicial. As linhas que o constituem sofrem uma translação para o lado interior do compartimento, que iguala o valor do distanciamento máximo à parede. Fica, desta forma, definido o novo perímetro do espaço onde vão ser colocados os *sprinklers* (linhas a verde, Figura 56). Com as linhas que formam o novo perímetro cria-se uma superfície.

Na etapa seguinte, adquirem-se as coordenadas de dois vértices opostos no novo perímetro (pontos a laranja, Figura 56) e determina-se o comprimento e largura do espaço.

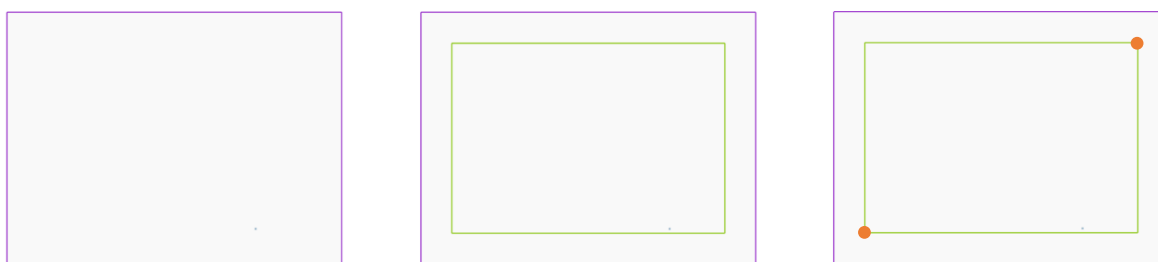


Fig. 56 - Perímetro inicial, perímetro transformado e vértices opostos (Dynamo). Fig. do Autor.

A seguir, com auxílio de um código escrito em nó de *Python*, obtém-se a distância real entre os *sprinklers* e as coordenadas do conjunto de pontos onde estes vão ser colocados, no eixo do comprimento e da largura.

Posteriormente, os pontos são criados ao nível do pavimento e recolocados à cota desejada com a contribuição de um vetor, criado pelo *input* da altura desejada para os *sprinklers*, e de um nó que permite a translação de geometria. Para concluir o código, criam-se dois caminhos para a colocação de *sprinklers* no modelo *Revit*: com *host* e sem *host*.

Na Figura 57, estão demonstrados os resultados gráficos do grafo A, em ambiente *Dynamo* e na Figura 58, está representada a colocação dos *sprinklers* (com fator “K” de 80) no compartimento exemplo.

Neste caso, a área de cobertura máxima por *sprinkler* é igual para o regulamento português e para a norma europeia, logo, a colocação dos aspersores está em conformidade com os dois referenciais normativos.

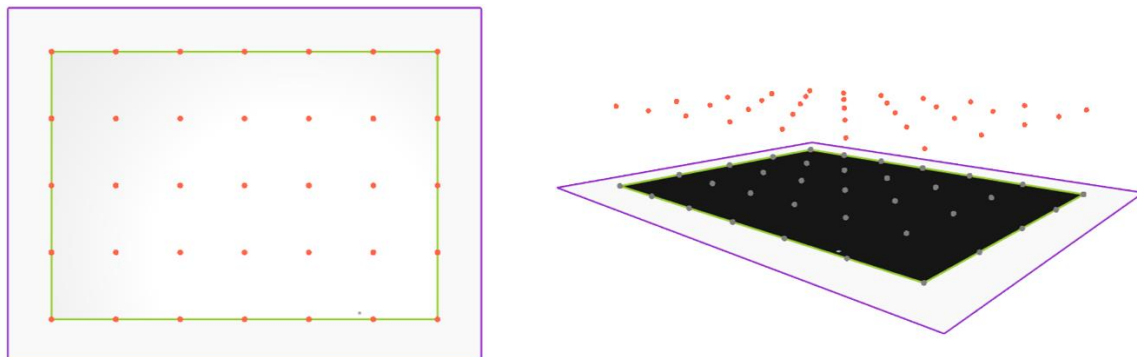


Fig. 57 - Pontos criados para a colocação de *sprinklers* (Dynamo). Fig. do Autor.

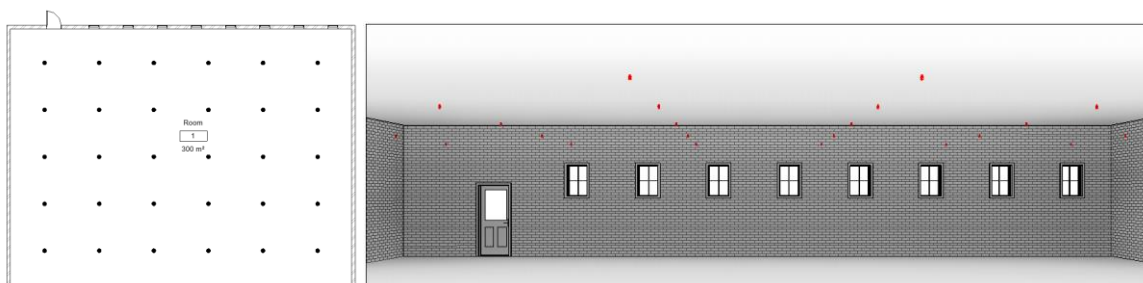


Fig. 58 - *Sprinklers* colocados: vista em planta e em perspectiva pelo interior (Revit). Fig. do Autor.

5.2.3. COLOCAÇÃO DOS TROÇOS DE TUBAGEM *SPRINKLER*—RAMAL

No segundo passo do caminho para a resolução do problema geométrico, com os *sprinklers* já colocados, a intenção é colocar, de forma automática, os troços de tubagem que ligam os *sprinklers* aos ramais.

O grafo B (Figura 59) está elaborado de forma a aceitar sete *inputs*: a opção de colocar a tubagem por espaço (*room*); o espaço a colocar a tubagem (*room*); a opção de associar o *host* dos *sprinklers* à tubagem (registra no parâmetro “*Host_Room*” da tubagem o nome e número do compartimento hospedeiro); o comprimento da tubagem; o *level* associado (piso); o tipo de *sprinkler*, quanto à orientação (pendente ou montante); o tipo de tubagem, quanto ao material. Devolve, como *output*, além de colocar a tubagem, o número de tubos colocados.

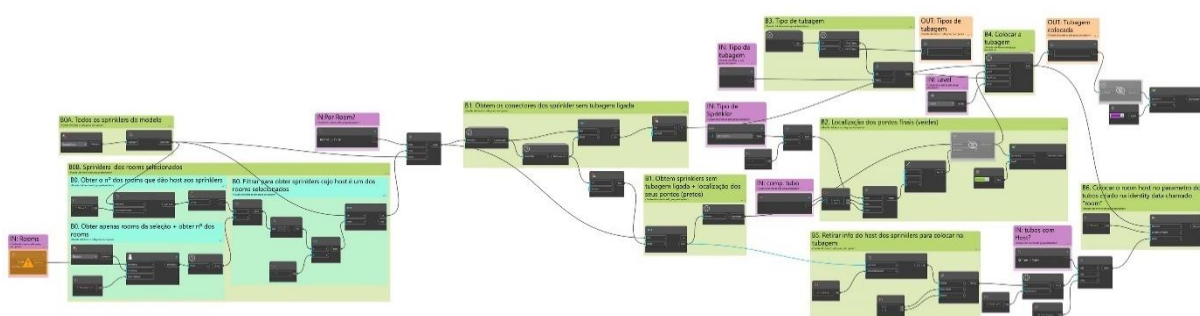


Fig. 59 - Grafo B: colocação de troços de tubagem *sprinkler*-ramal (Dynamo). Fig. do Autor.

O *script* inicia com um passo zero, no qual existem dois caminhos possíveis. O primeiro é selecionar todos os *sprinklers* do modelo *Revit*. Por sua vez, o segundo é filtrar, para obter os *sprinklers* nos compartimentos selecionados pelo utilizador, porque é ele quem decide entre os dois caminhos. Com o grupo de *sprinklers* definido, o programa filtra-os para obter os aspersores sem tubagem conectada e obtém a sua localização no modelo *Revit* (pontos a laranja, Figura 60).

No passo seguinte, os pontos que marcam a localização dos aspersores sofrem uma translação com valor ditado pelo utilizador no sentido ascendente (caso o *sprinkler* seja do tipo pendente) ou descendente (caso o *sprinkler* seja do tipo montante). Na Figura 60, está exposto o ambiente de trabalho *Dynamo* com o exemplo da translação dos pontos para *sprinklers* pendentes (pontos a verde).

Finalmente, o programa permite colocar os troços de tubagem a ligar os pontos de origem aos pontos que sofreram a translação (linhas a roxo, Figura 60).

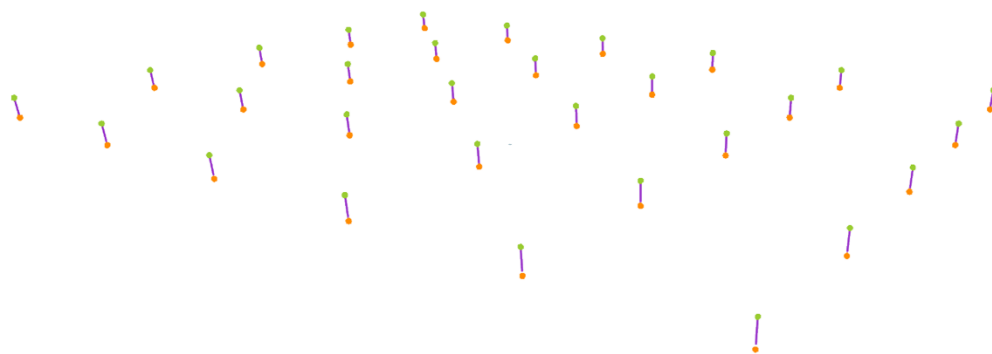


Fig. 60 - Resultados gráficos do *script* B (*Dynamo*). Fig. do Autor.

Na Figura 61, está demonstrada a colocação dos troços de tubagem, com a perspetiva do interior do compartimento exemplo.

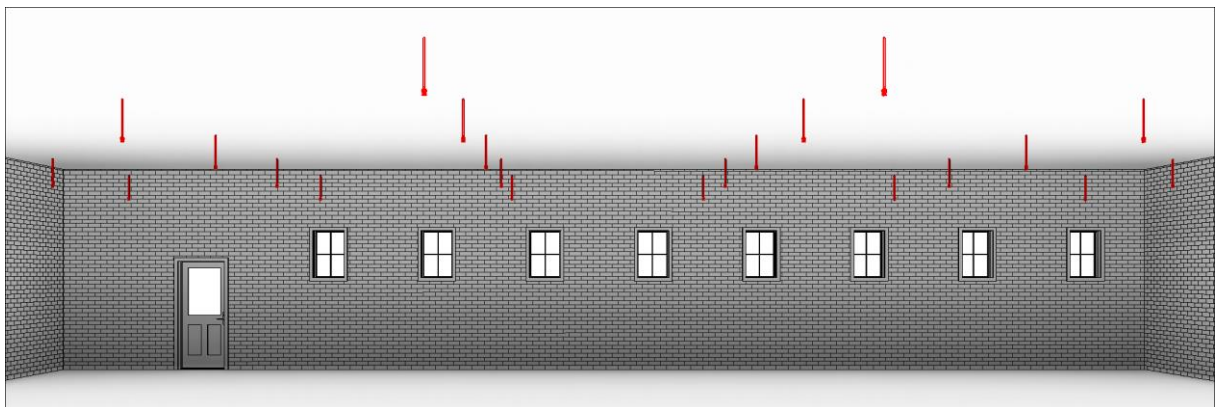


Fig. 61 - Tubagem colocada: vista em perspetiva pelo interior (*Revit*). Fig. do Autor.

Nota: O comprimento do troço de tubagem é representado de forma exagerada para se obter melhor visibilidade na imagem. Normalmente, na instalação na orientação pendente, os *sprinklers* ficam conectados diretamente nas derivações roscadas (também referidos como “tês” mecânicos) ou nas derivações soldadas pré-fabricadas (ver 2.2.5). A razão pela qual isto acontece é a provável acumulação

de lixos durante a instalação, o que diminui ou impede a performance do(s) *sprinkler(s)*, aquando da sua ativação. Este problema não ocorre na orientação montante dos *sprinklers*.

5.2.4. COLOCAÇÃO DOS RAMAIS

No terceiro passo do caminho para a resolução do problema geométrico, após a inserção dos *sprinklers* e troços de tubagem, percorrendo a composição dos SAEI, de jusante para montante, é o momento para a colocação automática dos ramaís, que fazem a ligação aos coletores principais ou secundários. Aconselha-se que se modele manualmente, em antemão, os coletores onde se vão ligar os ramaís.

Nota: Não é condição necessária para poder executar o grafo. Este cria ramaís sem a presença de coletores.

O grafo C (Figura 62) está elaborado de forma a aceitar onze *inputs*: a opção de colocar os ramaís por espaço (*room*), associando o *host* dos *sprinklers* (e troços de tubagem) aos ramaís (registando no parâmetro “*Host_Room*” da tubagem o nome e número do compartimento hospedeiro); o espaço a colocar os ramaís (*room*); a opção de ligar os ramaís a um coletor (principal) previamente modelado; a seleção do coletor no modelo *Revit*; a opção de rodar os ramaís 90° (escolher a orientação dos ramaís); a opção de tornar a rede emalhada; a opção de tornar a configuração da rede em árvore; o *level* associado (pisos); o diâmetro dos ramaís; o tipo de tubagem quanto ao material; o tipo de sistema, quanto à sua natureza (neste caso *Fire Protection Wet*). O grafo devolve, como *output*, além de colocar os ramaís, o número de tubos colocados.

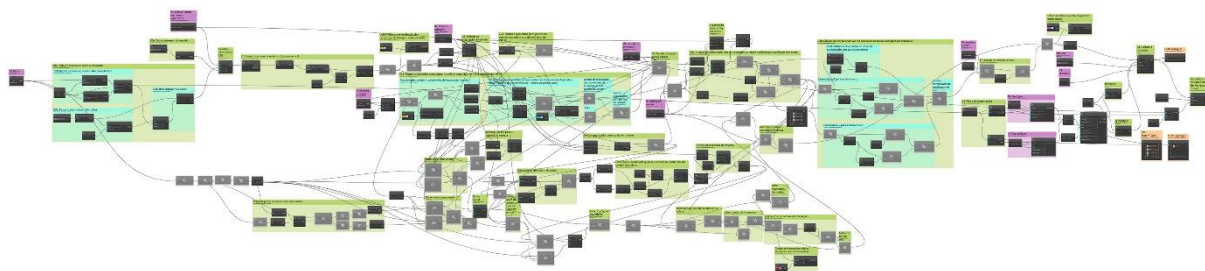


Fig. 62 - Grafo C: Colocação dos ramaís (*Dynamo*). Fig. do Autor.

O *script*, tal como o anterior, começa com um passo zero, no qual existem dois caminhos possíveis. O primeiro é selecionar todos os troços de tubagem do modelo *Revit*. Por sua vez, o segundo é filtrá-los para obter os troços de tubagem no compartimento selecionado pelo utilizador. Com o grupo de troços de tubagem definido, o programa filtra-os para adquirir os tubos verticais que não estão conectados na sua extremidade superior e obtém a localização das mesmas extremidades no modelo *Revit* (pontos a verde, Figura 63).

A seguir, com a informação dos *inputs* de opção de orientação dos ramaís e opção de conexão a um coletor, são criados os pontos de conexão no coletor, se este existir (pontos a azul, Figura 63). O coletor está representado na Figura 63, em ambiente de trabalho *Dynamo* com a linha a laranja.

Em continuação, existem dois caminhos possíveis: a colocação dos ramaís na configuração em pente (primeiro caminho) e na configuração em árvore (segundo caminho). No primeiro caminho, os pontos do coletor (a azul, Figura 63) e os pontos retirados dos tubos (a verde) são organizados segundo a orientação desejada para os ramaís. Posteriormente, são criadas linhas entre os pontos, onde vão ser

colocados os ramais (linhas a roxo, Figura 63). Nesta fase, há a possibilidade de criar linhas adicionais para tornar a rede emalhada, se o utilizador o solicitar.

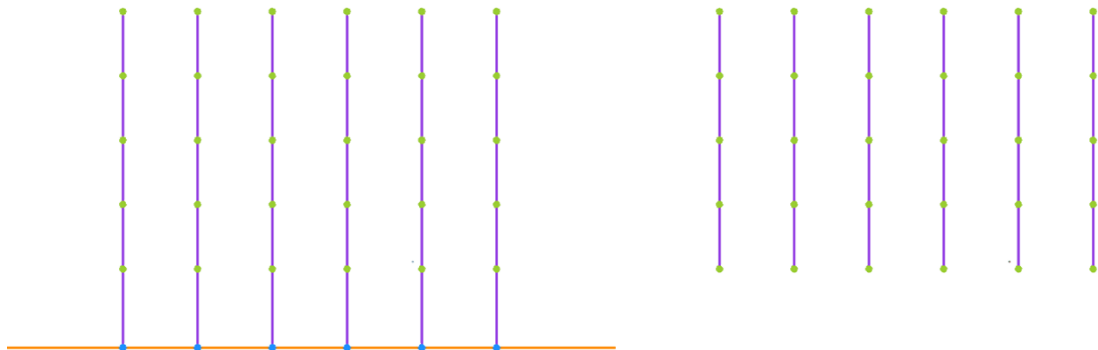


Fig. 63 - Resultados gráficos *script C*: config. em pente (*Dynamo*). Fig. do Autor.

No segundo caminho (configuração em árvore), são determinadas as coordenadas para a localização do coletor secundário, que conecta o coletor principal aos ramais. Numa primeira fase, estabelece-se uma linha desde o ponto do coletor (que intersecta com a mediatriz do lado do compartimento paralelo ao coletor principal, ponto inferior a preto na imagem da esquerda, Figura 64) até à linha de pontos da tubagem vertical mais distante (a verde, Figura 64). No caso de não existir coletor, este é substituído pelo ponto médio do lado do compartimento (ponto inferior a preto na imagem da direita, Figura 64). Organizam-se, nesta fase, os pontos (a verde) segundo a direção perpendicular ao coletor secundário e são criadas linhas entre os pontos.

Neste momento do código, as linhas centrais dos ramais intersectam com a linha do coletor secundário (pontos a vermelho, Figura 64). Através desses pontos, as linhas centrais dos ramais são divididas em dois e a linha do coletor secundário é dividida pelo número dessas mesmas interseções. Para finalizar a organização das linhas para colocação da tubagem, é acrescentado um pequeno segmento no fim da linha do coletor secundário, para ser colocada uma tomada de limpeza, obrigatória segundo a NP EN 12845 [38].

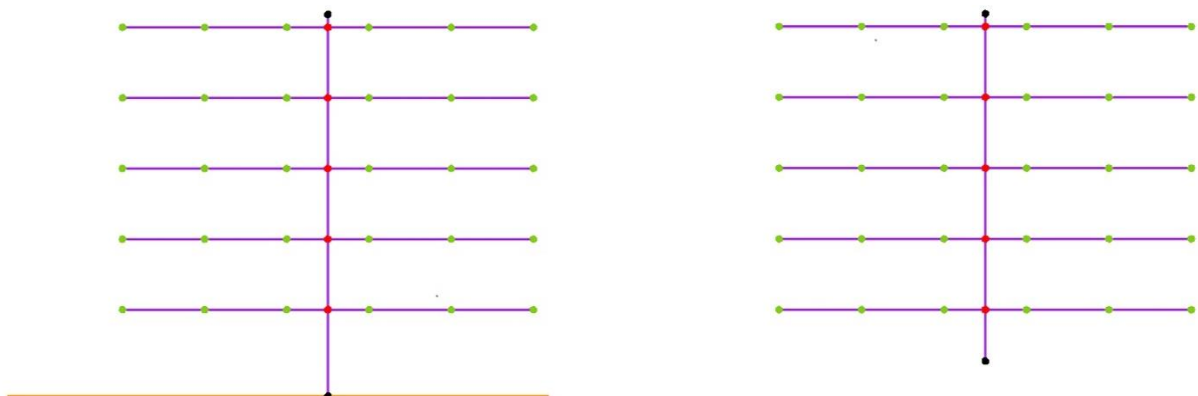


Fig. 64 - Resultados gráficos *script C*: config. em árvore (*Dynamo*). Fig. do Autor.

Nota: Nestes dois caminhos, a tubagem é colocada aos segmentos (nos ramais e no coletor secundário) e não num segmento contínuo que une os pontos mais distantes. A razão pela qual o grafo está concebido assim é a futura organização e filtragem da tubagem para a colocação de acessórios (ver 5.2.5).

Finalmente, os ramais são colocados com os parâmetros indicados: tipo de tubagem, tipo de sistema, *level* (pisos) e diâmetro dos ramais. Nas Figuras 65 e 66, é apresentada a colocação de ramais no modelo Revit para a configuração em pente e, nas Figuras 67 e 68, para a configuração em árvore.

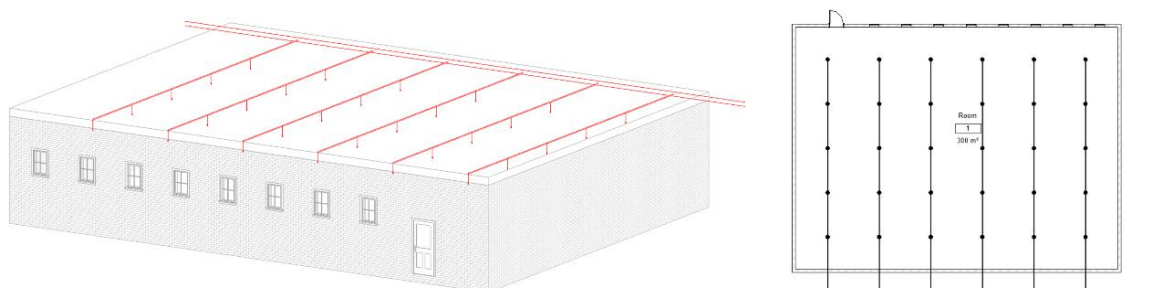


Fig. 65 - Ramais colocados em pente: vista tridimensional e em planta (Revit). Fig. do Autor.

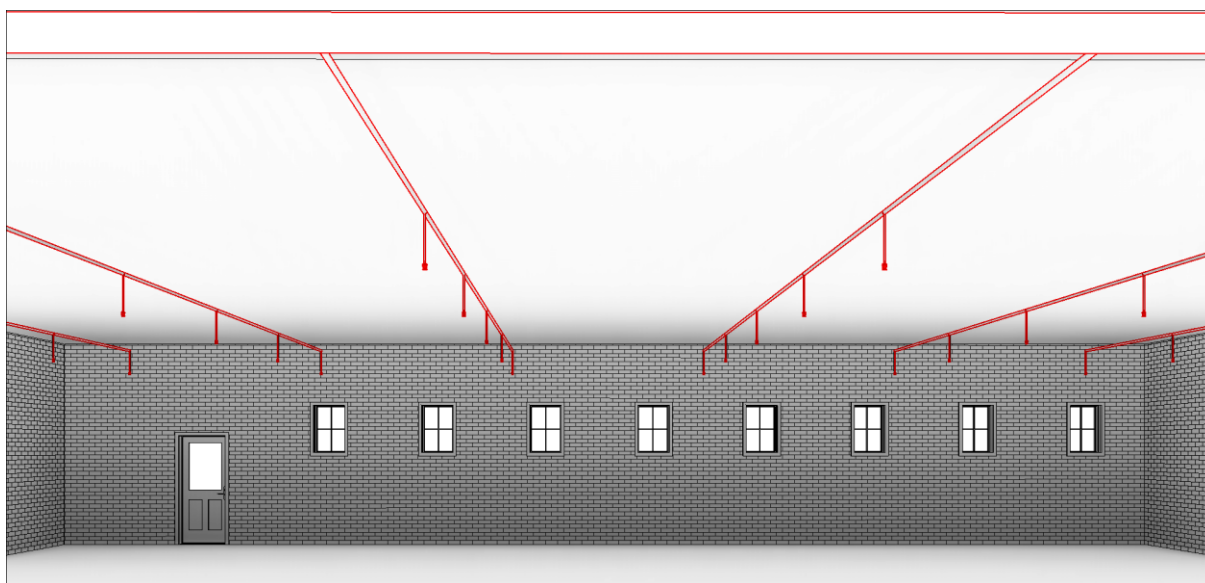


Fig. 66 - Ramais colocados em pente: vista em perspetiva pelo interior (Revit). Fig. do Autor.

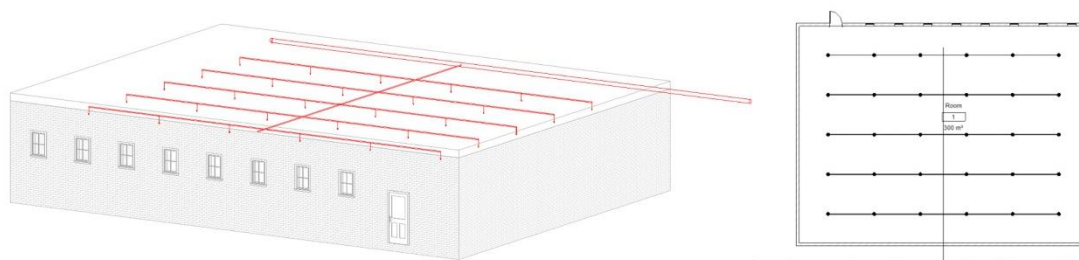


Fig. 67 - Ramais colocados em árvore: vista tridimensional e em planta (Revit). Fig. do Autor.

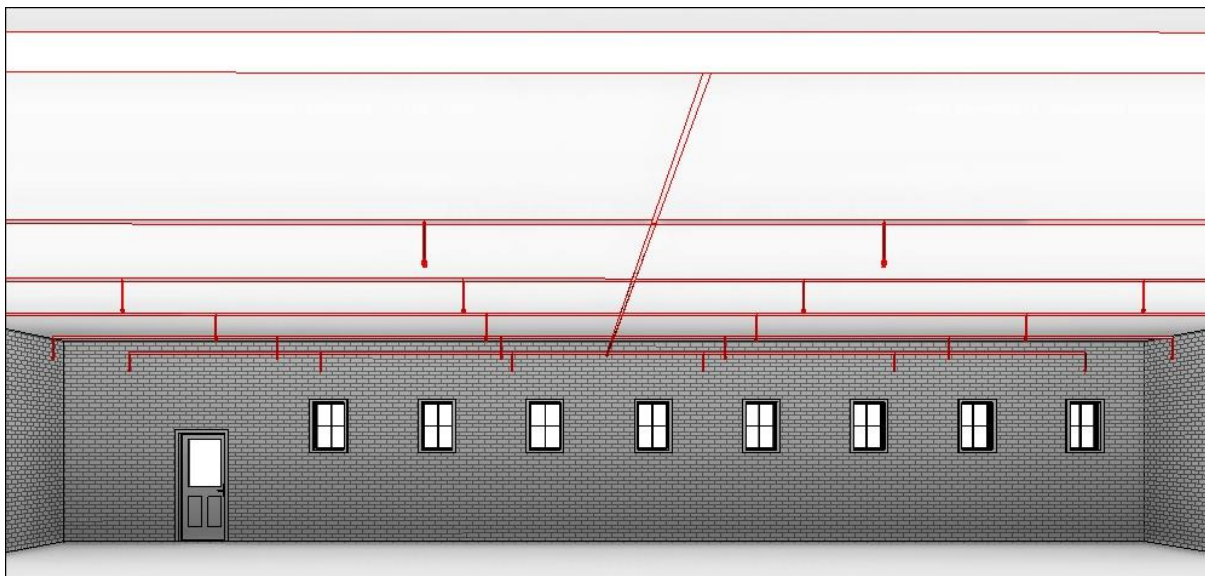


Fig. 68 - Ramais colocados em árvore: vista em perspectiva pelo interior (Revit). Fig. do Autor.

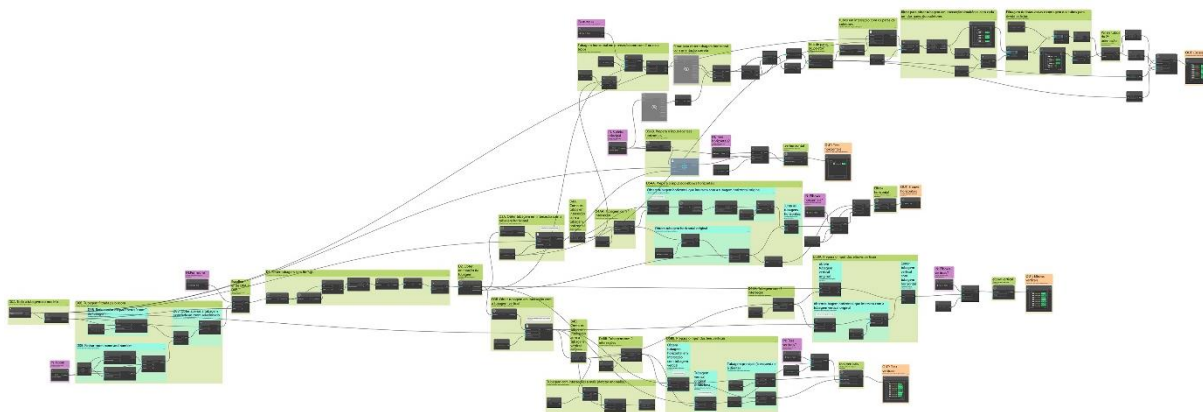
5.2.5. COLOCAÇÃO DOS ACESSÓRIOS

5.2.5.1. *Dynamo*

No quarto passo do caminho para a resolução do problema geométrico, após a colocação dos *sprinklers* e da tubagem, verifica-se que os tubos presentes no modelo se encontram sem acessórios. Neste passo é necessário, *a priori*, compreender como se conecta a tubagem e quais os acessórios utilizados, ver 2.2.5.

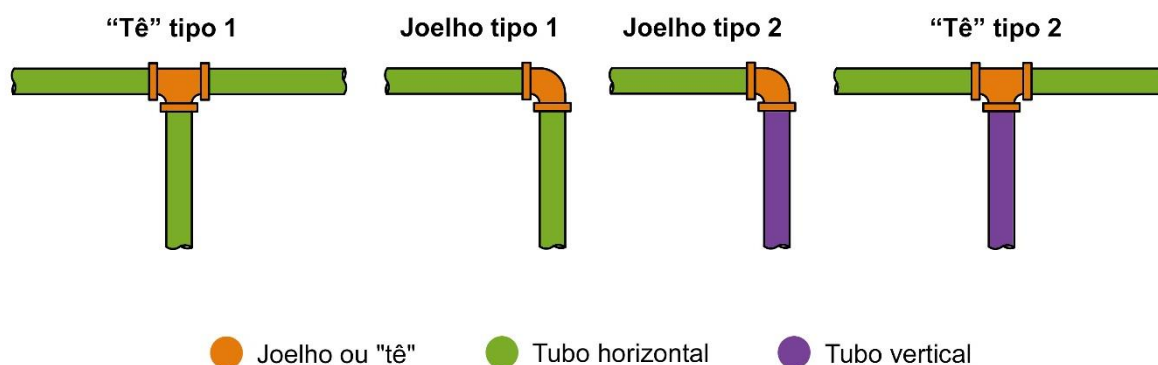
Antes de correr o grafo, devem ser definidos os tipos de acessórios a utilizar, para a sua colocação automática. As famílias de acessórios a utilizar devem ser importadas dos fabricantes ou criadas pelos utilizadores e definidas nas *routing preferences* do tipo de tubagem. Neste caso, em que a aplicação do grafo é feita em cenário de exemplo, os acessórios utilizados são os predefinidos no modelo *Revit*. No entanto, é importante lembrar que, em cenário de projeto, é necessária uma seleção cuidadosa dos acessórios a serem utilizados, para garantir que o sistema funcione corretamente e atenda às necessidades do projeto.

O grafo D (Figura 69) está elaborado de forma a aceitar oito *inputs*: a opção de colocar os acessórios na tubagem associados a um espaço (*room*); o espaço a colocar os acessórios (*room*); a seleção do coletor principal no modelo *Revit*; a opção de colocar joelhos tipo 1; a opção de colocar joelhos tipo 2; a opção de colocar “tês” tipo 1; a opção de colocar “tês” tipo 2; a opção de colocar cruzetas. Esta nomenclatura atribuída aos “tês” e aos joelhos é concebida pelo autor para que haja uma melhor compreensão do *script*. Cada um dos tipos é explicado adiante. O grafo em questão devolve, como *output*, além de colocar os acessórios, o número de acessórios colocados por tipo.

Fig. 69 - Grafo D: Colocação dos acessórios (*Dynamo*). Fig. do Autor.

Na Figura 70, estão representados, esquematicamente, os tipos de acessórios mencionados anteriormente. Os acessórios de tipo 1 conectam exclusivamente tubagem horizontal e os acessórios de tipo 2 fazem a conexão entre tubagem horizontal e vertical. As cruzetas não estão representadas, pois são colocadas apenas para a conexão de quatro tubos horizontais. É necessário deixar uma nota para os “tês” de tipo 3, que fazem a conexão de dois tubos verticais com um horizontal, dado que são um acessório também presente nestes sistemas.

É importante, também, ter em conta as tomadas de limpeza, que são obrigatórias nas extremidades dos coletores, segundo a NP EN 12845 [38]. Neste caso, não existem “tês” tipo 3 e apenas é instalada uma ou duas tomadas de limpeza no coletor (dependendo do tipo de configuração). Na abordagem do autor, há a decisão de modelação manual deste tipo de acessórios.



Nota: Tipo 1 - Vista em planta; Tipo 2 - Vista em alçado.

Fig. 70 - Tipos de “tês” e joelhos. Fig. do Autor.

O *script*, tal como os anteriores, começa com um passo zero, no qual existem dois caminhos possíveis: o primeiro é selecionar todos os tubos do modelo *Revit*, o segundo é filtrá-los para obter os tubos no compartimento selecionado pelo utilizador. Com o grupo de tubos definido, o programa filtra-os para obter a tubagem sem acessórios conectados e obtém a orientação dos tubos (horizontais e verticais).

A seguir, é identificada a tubagem em interseção com os tubos horizontais e, em separado, com os verticais. O coletor principal, apesar de ser um tubo horizontal, é tratado de forma independente. O código divide-se em cinco ramificações. Em quatro delas (joelhos tipo 1 e 2 e “tês” tipo 1 e 2), filtra-se

para obter, individualmente, duas listas organizadas de tubagem. Na primeira lista, estão presentes as tubagens que são intersectadas e, na segunda, as tubagens que as intersectam, sendo que, para o caso dos joelhos, as duas listas compreendem o mesmo número de tubagens e, para o caso dos “tês”, a segunda lista tem, no mínimo, o dobro dos elementos da primeira. No caso das cruzetas, filtra-se a tubagem para obter quatro listas de tubos, cada uma para conectar num dos quatro pontos de ligação das cruzetas. Estas são colocadas com um nó personalizado do autor, analisado adiante, em 5.2.5.2. Finalmente, os acessórios são colocados no modelo *Revit*. Nas Figuras 71 e 72, é apresentada a colocação de acessórios no caso da configuração em pente e, nas Figuras 73 e 74, no caso da configuração em árvore.

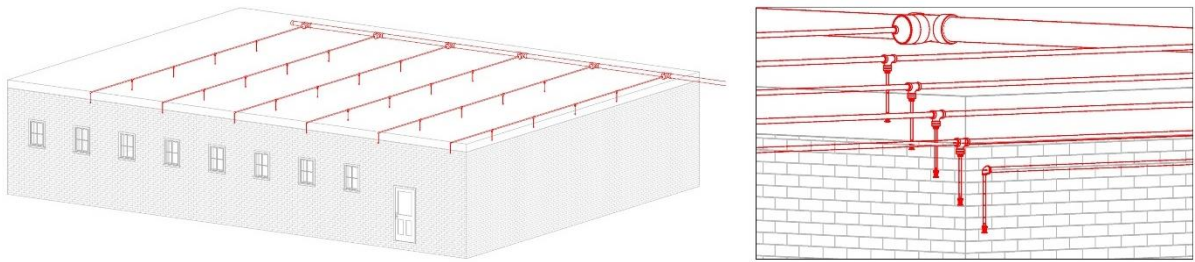


Fig. 71 - Acessórios colocados em pente: vistas tridimensionais (*Revit*). Fig. do Autor.

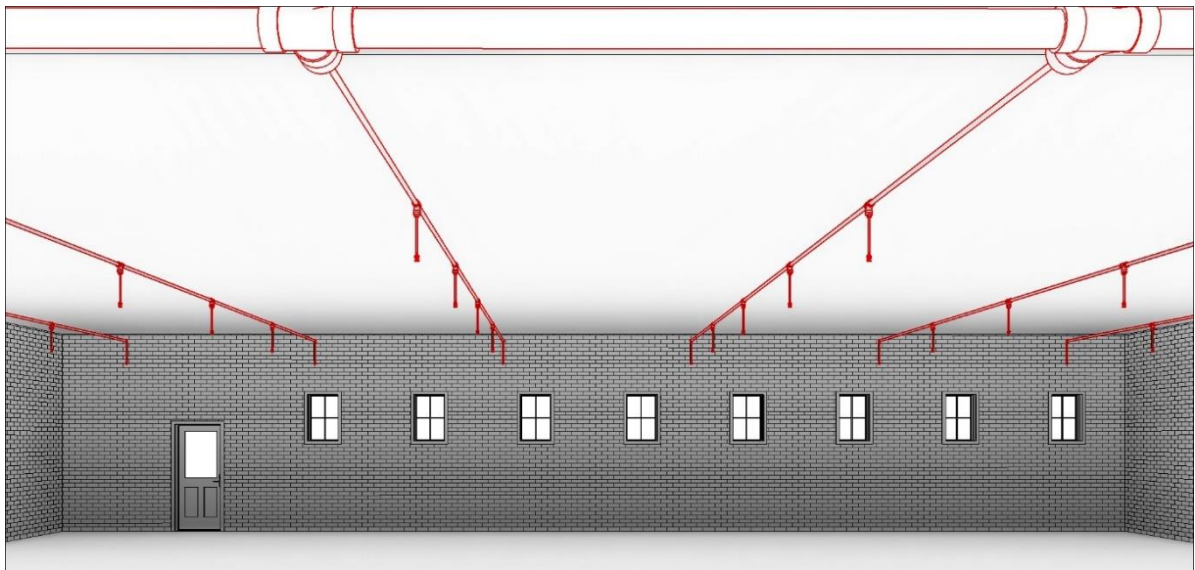


Fig. 72 - Acessórios colocados em pente: vista em perspectiva pelo interior (*Revit*). Fig. do Autor.

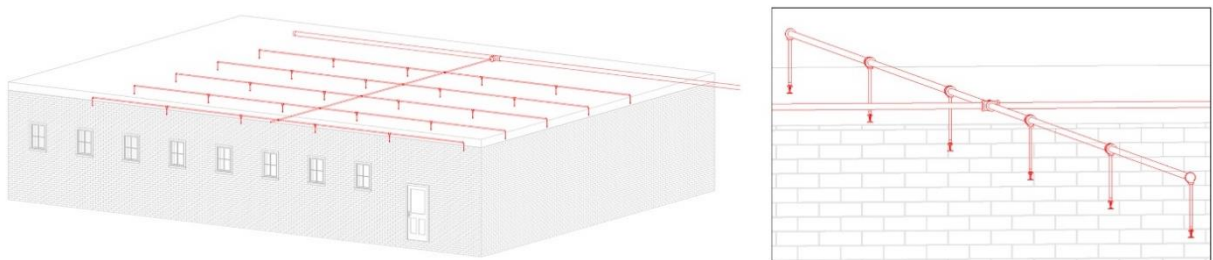


Fig. 73 - Acessórios colocados em árvore: vistas tridimensionais (*Revit*). Fig. do Autor.

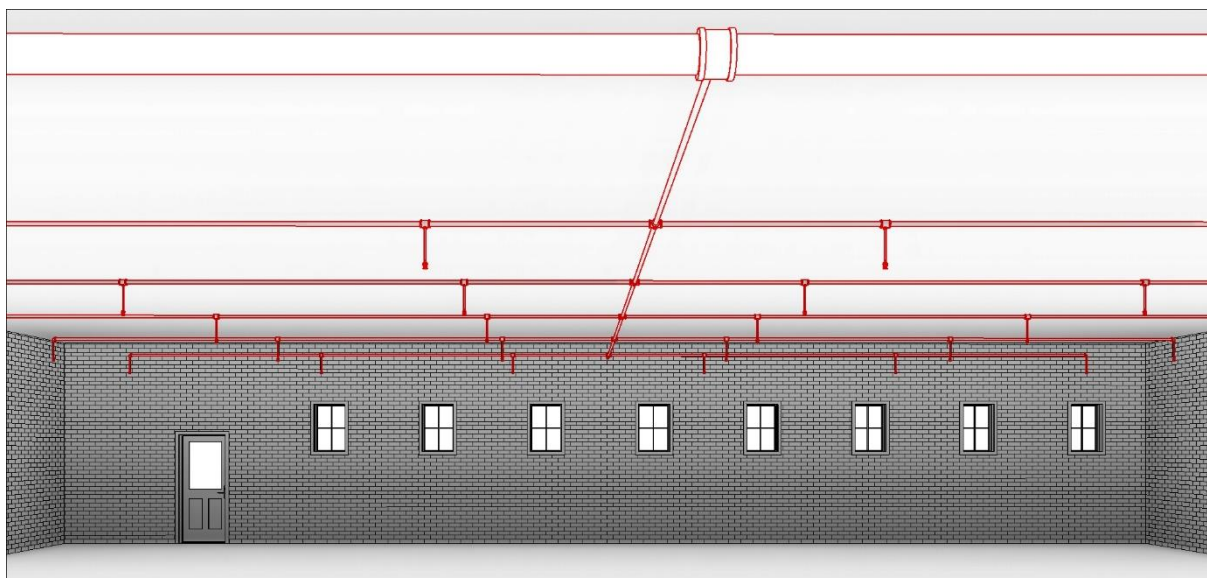


Fig. 74 - Acessórios colocados em árvore: vista em perspectiva pelo interior (Revit). Fig. do Autor.

5.2.5.2. Python: Nó de colocação de cruzetas

As cruzetas que unem tubagens horizontais, ao contrário dos joelhos e dos “tês”, não têm um nó definido, nos *packages* do *Dynamo*, que permite a sua colocação nos modelos *Revit*. Existem nós publicados no *package* “*MEPover*”, para colocação dos joelhos e dos “tês”.

De forma a ser possível colocar cruzetas através do *Dynamo*, criou-se um nó. Este foi originado com auxílio dos nós existentes no “*MEPover*” e anexado no *package* do autor (“*RafaLobo*”), publicado localmente.

Iniciou-se o processo de conceção do nó, com recurso ao *Revit API docs*, explicado em 3.3.2. Pesquisou-se o método de criação de cruzetas e encontrou-se o “*NewCrossFitting Method*” (Figura 75), que tem como argumentos quatro conectores, neste caso de tubos, para colocar o acessório. Os conectores são elementos que estão presentes em sistemas MEP e encontram-se nas extremidades da tubagem.

Após a identificação do método da API, prossegue-se para o código em *Python* (Figura 75). Decompõe-se, então, o código de forma simplificada: o *script* começa por aceitar quatro *inputs*: os quatro tubos que se pretende conectar ou quatro conjuntos de tubos, nos quais se pretende colocar cruzetas.

Posteriormente à recolha dos *inputs*, é definida uma função para identificar os conectores em cada tubo e, sendo que cada tubo possui dois, é necessário filtrar para obter os conectores da extremidade “correta”. Ou seja, a função obtém o conector do tubo “1” mais próximo de um dos conectores do tubo “2”. Depois obtém o conector do tubo “2” mais próximo de um dos conectores do tubo “3” e assim sucessivamente até agrupar quatro conectores. Se existirem vários conjuntos de quatro tubos, a função continua a gerar grupos de quatro conectores até terminarem os conjuntos de tubos, resultando uma lista de grupos de quatro conectores.

Aplica-se, então, a função a cada grupo de quatro tubos, sendo que, no caso de serem apenas quatro tubos, só quatro conectores são agrupados para criarem uma cruzeta. Finalmente, aplica-se, assim, o método para a criação de cruzetas.

A explicação acima é bastante sintética. Fica uma nota para os expeditos na matéria: é essencial incluir, no código, funções como: “*UnwrapElement*”, “*ToDSType*” e “*TransactionManager*”, dado que tornam

possível, respetivamente: converter um objeto do *Revit* na sua representação nativa para manuseamento em *Python*, converter um objeto no seu tipo de dados correspondente na linguagem do *Dynamo* e gerenciar as transações do *Revit*, garantindo que as alterações no modelo são feitas de forma consistente e segura.

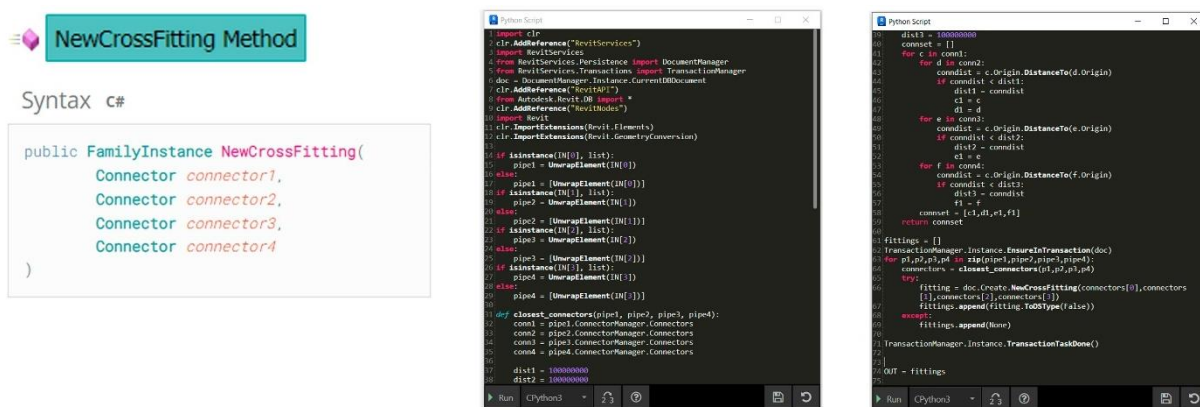


Fig. 75 - Procedimento para a elaboração do script de criação de cruzetas. Fig. do Autor.

Posteriormente, com o script em *Python* executado e a correr sem erros, cria-se um nó personalizado em *Dynamo*. Na Figura 76, do lado esquerdo, vê-se a organização dos *inputs* e *outputs* e a atribuição dos devidos nomes. Do lado direito, encontra-se o nó no seu estado final, com o nome “*Cross_by4MepCurves*”, pronto a utilizar no fluxo de trabalho do *Dynamo*.

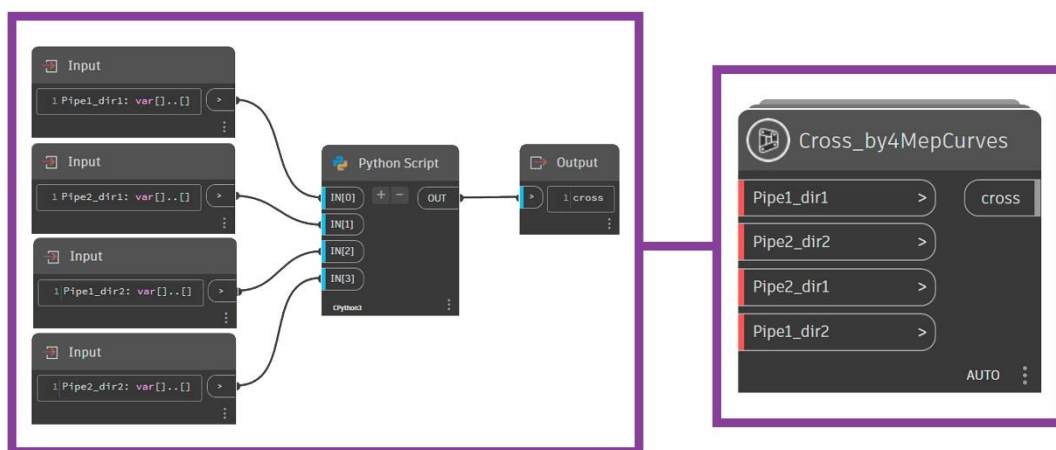


Fig. 76 - Nó personalizado de criação de cruzetas. Fig. do Autor.

Este exemplo ajuda a perceber a complexidade por de trás de um nó, na linguagem do *Dynamo*. O *Dynamo* é, de facto, uma linguagem visual de programação que permite aos utilizadores criar algoritmos complexos sem escrever código tradicional. No entanto, apesar da sua interface intuitiva, os nós individuais podem ser altamente complexos e conter, por exemplo, cálculos elaborados de matemática e estatística, algoritmos de interseção de geometria, etc.

5.3. OTIMIZAÇÃO HIDRÁULICA

5.3.1. INTRODUÇÃO

Inicialmente, na fase do cálculo hidráulico, foi idealizada uma abordagem, em que, primeiro, seria executado um cálculo hidráulico inicial e, depois, seriam feitos ajustes para o dimensionamento final ser compatível com a norma escolhida para o efeito. Esta corrente de pensamento faz sentido na abordagem às instalações prediais, visto que o *Revit* executa o cálculo segundo o IPC (*International plumbing code*). No entanto, para as redes de incêndio, o *Revit* não faz nenhum tipo de cálculo, logo a abordagem inicial torna-se impossível.

Eis a abordagem alternativa: cálculo hidráulico das redes de *sprinklers* por meio da folha de cálculo da APTA (ver capítulo 4), através da exportação organizada dos dados da tubagem do modelo *Revit* para a folha de cálculo e, após o cálculo, importação dos diâmetros para a tubagem. É importante recordar que com esta folha da APTA, o dimensionamento é possível, apenas, para redes ramificadas.

A primeira ação a realizar é a criação de três parâmetros partilhados (ver 3.2.1). O primeiro para a identificação da tubagem do caminho crítico, neste caso com o nome “*Critical Path*”. O segundo para a numeração, de jusante para montante, dos troços de tubagem do caminho crítico, neste caso com o nome “*CP_num*”. E o terceiro para a organização dos ramais por níveis, neste caso com o nome “*R_Lvl*”. É possível avançar, após esta primeira ação, para o grafo E.

Nota 1: Ver capítulo 4 (“Dimensionamento de SAEI”), para a compreensão do dimensionamento das redes de *sprinklers* e princípios de funcionamento da folha de cálculo.

Nota 2: Os quatro grafos produzidos para a “otimização hidráulica” são versáteis para as redes ramificadas, ou seja, funcionam para configurações em pente e em árvore. No entanto, são inválidos para o dimensionamento de redes emalhadas.

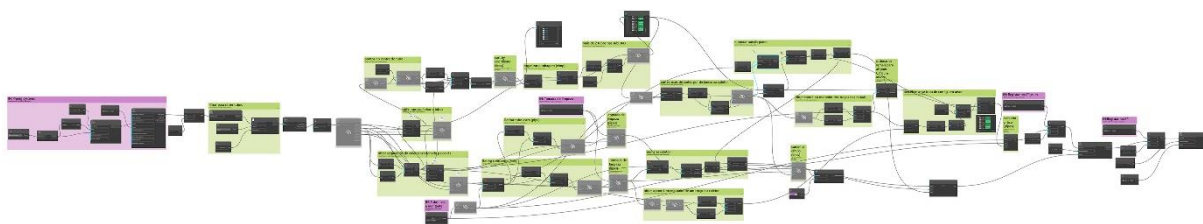
5.3.2. ESTRUTURAÇÃO DA TUBAGEM

5.3.2.1. Determinação do caminho crítico

No primeiro passo do caminho para a resolução do problema hidráulico, o objetivo é identificar a tubagem que pertence ao caminho crítico e numerá-la, de jusante para montante, para, mais tarde, exportar a informação dos tubos para o *Excel* e efetuar o cálculo hidráulico. Essa numeração facilita a identificação dos tubos para os processos de exportação e importação de informação entre *Revit* e *Excel*. Este passo é semiautomático. O grafo sugere um *output* inicial que o projetista deve verificar e efetuar as devidas alterações, se estas forem necessárias.

O grafo E (Figura 77) está elaborado de forma a aceitar cinco *inputs*: o *system name* (nome do sistema); seleção do tubo mais a montante da rede; a indicação da existência de tomada de limpeza no coletor; a opção de identificar a tubagem no caminho crítico (registra no parâmetro “*Critical Path*”); a opção de numerar a tubagem no caminho crítico, de jusante para montante (registra no parâmetro “*CP_num*”). Devolve, como *output*, o número de troços de tubagem no caminho crítico e regista, se o utilizador solicitar, nos parâmetros “*Critical Path*” e “*CP_num*” a identificação e numeração da tubagem.

Nota: o parâmetro “*Critical Path*” é utilizado para a verificação visual do grafo. Este não distingue os troços de tubagem, apenas indica se estes pertencem ao caminho crítico. Por outro lado, o parâmetro “*CP_num*” é utilizado para a interoperabilidade com o *Excel*.

Fig. 77 - Grafo E: Determinação do caminho crítico (*Dynamo*). Fig. do Autor.

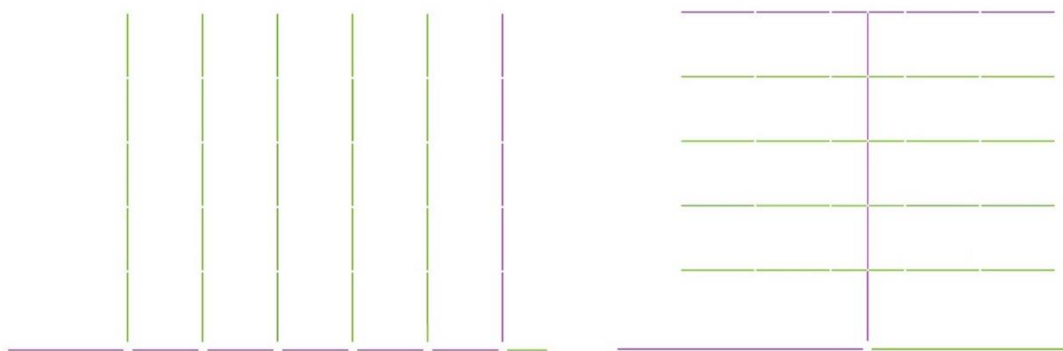
O *script* inicia com um passo zero, no qual o utilizador identifica o sistema em que é definido o caminho crítico, através da identificação do *system name*. O utilizador identifica, também, o troço mais a montante do sistema, o que permite avançar para a fase a seguir.

Posteriormente, filtra-se o sistema para obter apenas a tubagem, excluindo-se os *sprinklers* e acessórios, e estuda-se a orientação desta, com base nas coordenadas inicial e final de cada troço. De seguida, são identificados os ramais e o(s) coletor(es), através da sua geometria e do seu número de troços. Caso o utilizador indique que existe uma tomada de limpeza no coletor, o troço mais a jusante do coletor é eliminado da listagem de troços.

Depois, com a tubagem dos ramais e dos coletores dividida, os troços dos ramais são agrupados segundo o eixo do seu desenvolvimento e os grupos são ordenados segundo a distância em relação ao tubo mais a montante. Com esta ordenação, determina-se o grupo de troços de ramais mais distantes do troço mais a montante (tubagem crítica).

No passo seguinte, com a identificação do grupo de troços críticos para os ramais e coletor(es), é feita a sua ordenação com base nas suas coordenadas. A tubagem no caminho crítico é demarcada através do registo no parâmetro “*Critical path*”. De jusante para montante, são atribuídos números de um até ao número de troços que compõem o caminho crítico. Esses números, são alocados no parâmetro “*CP_num*”. Caso não haja registo no “*CP_num*”, não é possível prosseguir para os grafos seguintes.

Na Figura 78, são expostos, no ambiente de trabalho do *Dynamo*, os caminhos críticos da tubagem (a roxo), no compartimento exemplo, nas seguintes configurações: em pente (imagem da esquerda) e em árvore (imagem da direita).

Fig. 78 - Resultados gráficos *script* E (*Dynamo*). Fig. do Autor.

Após correr o grafo E, é importante fazer a verificação do caminho crítico. A ferramenta “*OneFilter*” do *plug-in DiRootsOne* (ver 3.3.3.1) permite aplicar um filtro de cores que diferencia a tubagem no caminho crítico da restante tubagem, através da informação contida no parâmetro “*Critical path*”.

Na Figura 79, está evidenciada, no compartimento exemplo, a tubagem que pertence ao caminho crítico (a roxo) nas seguintes configurações: em pente (imagem da esquerda) e em árvore (imagem da direita).

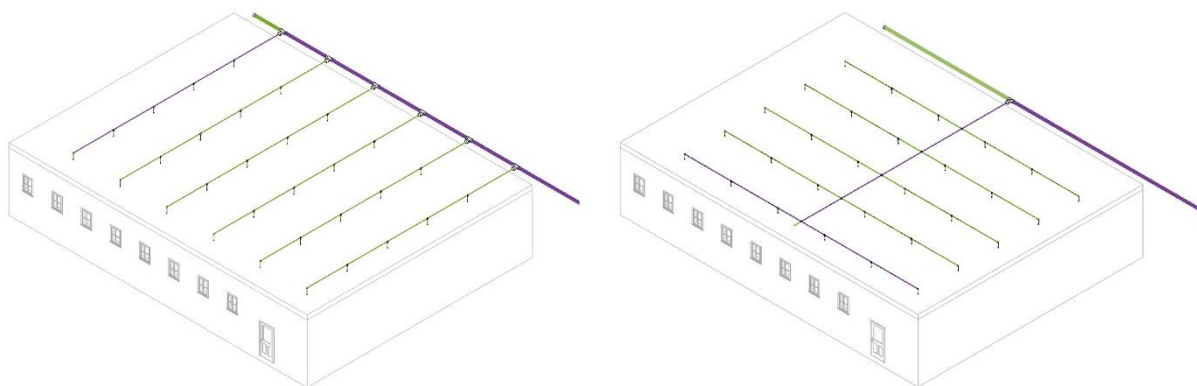


Fig. 79 - Determinação do caminho crítico: vistas tridimensionais (Revit). Fig. do Autor.

5.3.2.2. Organização dos ramais por níveis

No segundo passo do caminho para a resolução do problema hidráulico, pretende-se organizar os troços dos ramais não críticos, para posterior atribuição dos diâmetros por analogia.

O grafo F (Figura 80) está elaborado de forma a aceitar um *input*: o *system name* (nome do sistema). Devolve, como *output*, o registo do nível dos troços dos ramais no parâmetro “*R_Lvl*”.

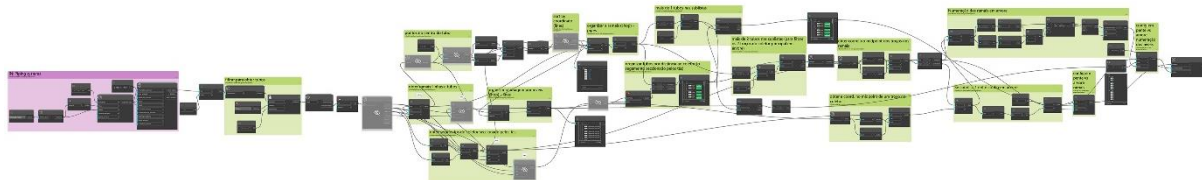


Fig. 80 - Grafo F: Organização dos ramais por níveis (Dynamo). Fig. do Autor.

O *script* F tem uma metodologia semelhante ao *script* anterior (“determinação do caminho crítico”). Este inicia com um passo zero, no qual o utilizador identifica o sistema em que se pretende organizar os ramais por níveis, através da identificação do *system name*.

A seguir, filtra-se o sistema para obter apenas a tubagem, excluindo-se os *sprinklers* e acessórios, e estuda-se a orientação desta, com base nas coordenadas inicial e final de cada troço. Posteriormente, os ramais são identificados e agrupados, segundo o eixo do seu desenvolvimento.

Depois, com os vários troços dos ramais agrupados, estes são ordenados dentro dos respetivos grupos, com base nas suas coordenadas. São definidos níveis para os troços dos ramais, de jusante para montante, através da atribuição de números e esses níveis ficam alocados no parâmetro “*R_Lvl*”.

Após correr o grafo F, é importante fazer a verificação dos níveis dos ramais. A ferramenta “*OneFilter*” do *plug-in* *DiRootsOne* (ver 3.3.3.1) permite aplicar um filtro de cores que diferencia a tubagem com base no valor alojado no “*R_Lvl*”.

Na Figura 81, estão evidenciados, nos modelos *Revit*, os ramais do compartimento exemplo organizados por níveis, nas seguintes configurações: em pente (imagem da esquerda) e em árvore (imagem da direita). No Quadro 21, é apresentado o esquema de cores para os níveis dos ramais.

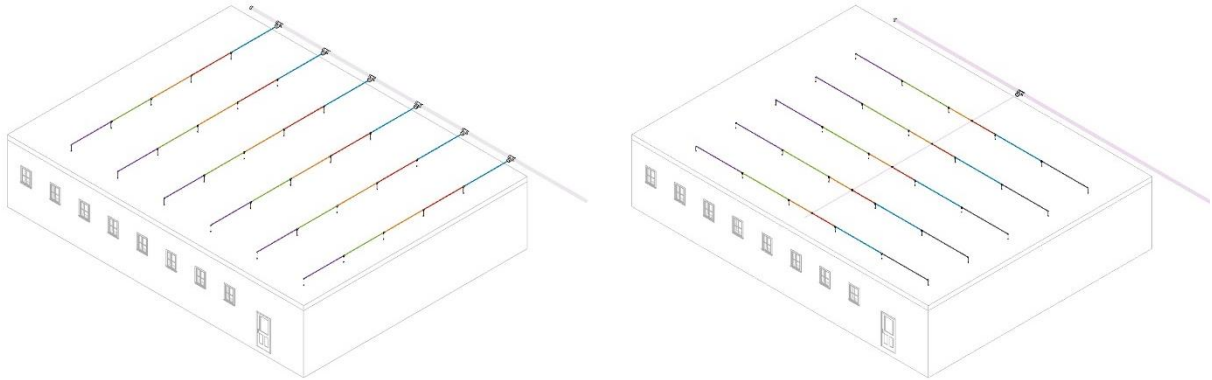


Fig. 81 - Organização dos ramais por níveis: vistas tridimensionais (*Revit*). Fig. do Autor.

Quadro 21 - Esquema de cores para os níveis dos ramais. Quadro do Autor.

"R_Lvl"	Cor
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

5.3.3. EXPORTAÇÃO PARA O EXCEL

No terceiro passo do caminho para a resolução do problema hidráulico, tenciona-se exportar a tubagem que pertence ao caminho crítico (previamente identificada com recurso ao grafo E) para a folha de cálculo da APTA, onde se vai efetuar o cálculo hidráulico.

O grafo G (Figura 82) está elaborado de forma a aceitar dois *inputs*: o *system name* (nome do sistema) e o diretório da folha de cálculo do *Excel*. Devolve, como *output*, o registo da informação no *Excel*. Essa informação é trabalhada no *Dynamo*, sendo que uma parte provém do modelo *Revit* e é filtrada e organizada e outra parte é criada no próprio *Dynamo*.

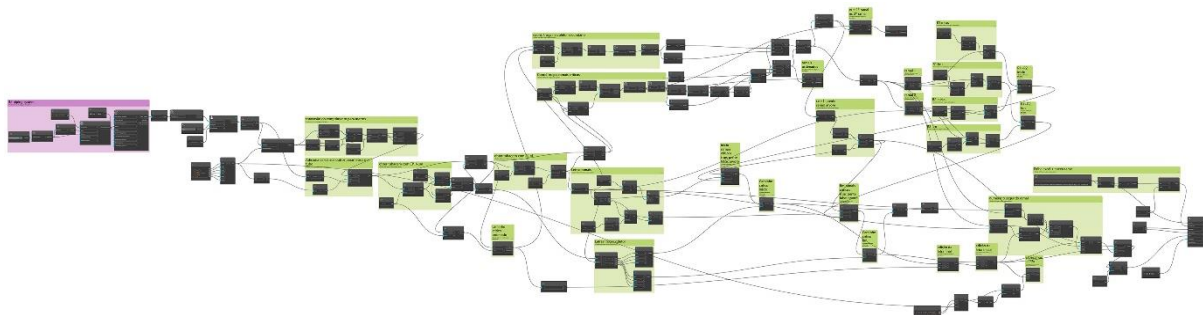


Fig. 82 - Grafo G: Exportação para o Excel (Dynamo). Fig. do Autor.

O *script* G inicia com um passo zero, assim como os *scripts* anteriores, no qual o utilizador identifica o sistema que pretende exportar para o Excel (para efetuar o dimensionamento), através da identificação do *system name*.

A seguir, filtra-se o sistema para obter apenas a tubagem, excluindo-se os *sprinklers* e acessórios, e recolhe-se a sua informação. O conteúdo alojado nos parâmetros “*R_Lvl*”, “*Length*” e “*CP_num*” de cada troço de tubagem é extraído, assim como o “*element ID*” (número único atribuído a cada elemento do modelo, sendo uma forma de identificar cada elemento individualmente).

Depois, com base na informação recolhida do “*CP_num*” e do “*R_Lvl*”, consegue-se separar a tubagem do caminho crítico da restante e perceber os troços que pertencem a ramais e a coletores. É importante fazer essa distinção, pois, na folha de cálculo da APTA, a codificação dos troços dos ramais faz-se de forma diferente da codificação dos troços dos coletores.

Na Figura 83, está representada essa forma de codificação dos troços. De jusante para montante, os troços devem ser codificados da seguinte forma: ramais (S1S2, S2S3, etc.) e coletores (AB, BC, etc.)

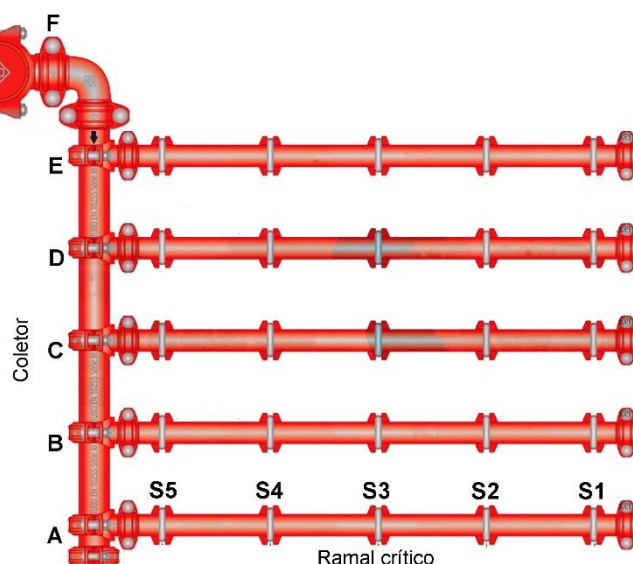


Fig. 83 - Codificação dos troços (vista em planta): folha de calc. APTA. Adaptado de [18].

Posteriormente, prepara-se, em *Dynamo*, a codificação dos troços para os casos em que o traçado é em pente e para os casos em que o traçado é em árvore. O utilizador não necessita de indicar qual o tipo de

configuração, porque o *script* consegue determiná-lo autonomamente. Nesta fase, estrutura-se, também, a restante informação que vai ser debitada no *Excel*: o comprimento e altura dos troços e o número de *sprinklers* em funcionamento nos troços dos ramais.

De seguida, com o *input* do diretório da folha de cálculo da APTA, obtém-se o destino da informação previamente organizada. Com a indicação da coluna e da linha onde se inicia a transição de informação, resta correr o grafo, para obter os dados na folha de cálculo.

Na Figura 84, está exposto um excerto da folha de cálculo da APTA, onde se colocam os *inputs* provenientes do desenho da instalação, antes e depois de se correr o grafo G. Neste caso, foi utilizada, como exemplo, a rede de *sprinklers* no compartimento exemplo (configuração em pente).

Antes de correr o grafo G							Depois de correr o grafo G						
Codificação dos troços			Nº de Sprinklers		Comprimentos dos troços		Codificação dos troços			Nº de Sprinklers		Comprimentos dos troços	
N	Início	Fim	NS _{sim.troço}	NS _{troço}	L _{real}	h ¹⁾	N	Início	Fim	NS _{sim.troço}	NS _{troço}	L _{real}	h ¹⁾
nº			nº	nº	m	m	nº			nº	nº	m	m
							1	S2	S1	1	1	2,66	0,00
							2	S3	S2	2	2	2,66	0,00
							3	S4	S3	3	3	2,66	0,00
							4	S5	S4	4	4	2,66	0,00
							5	A	S5	5	5	2,96	0,00
							6	B	A			2,83	0,00
							7	C	B			2,83	0,00
							8	D	C			2,83	0,00
							9	E	D			2,83	0,00
							10	F	E			2,83	0,00
							11	G	F			4,93	0,00

Fig. 84 - Excerto da folha de cálculo da APTA: resultados do grafo G. Fig. do Autor.

5.3.4. CÁLCULO HIDRÁULICO

No quarto passo do caminho para a resolução do problema hidráulico, segue-se o preenchimento manual do resto da folha de cálculo, de forma a finalizar o dimensionamento (da tubagem, do RASI e da CBSI). Deve-se introduzir manualmente: o número de *sprinklers* total e simultâneo nos troços do(s) coletor(es), o número de vezes que o troço está presente na instalação, o comprimento e desnível da tubagem de aspiração e a matriz afetação dos acessórios utilizados. O dimensionamento da rede fica concluído, se os limites mínimo e máximo estabelecidos para a velocidade forem respeitados por todos os troços de tubagem (ramais e coletores) e se os coletores cumprirem a perda de pressão máxima (ver capítulo 4 para uma análise detalhada do dimensionamento das redes de *sprinklers*).

Se for necessário, devem-se efetuar alterações nas características de projeto. É preciso, também, identificar o nó de derivação, para análise da situação crítica em caudal.

Nas Figuras 85 e 86, estão expostos excertos da folha de cálculo da APTA com o cálculo hidráulico realizado para a configuração em pente (Figura 85) e para a configuração em árvore (Figura 86), segundo a NP EN 12845 [38]. As folhas de cálculo completas encontram-se no Anexo A (Figuras A2 e A3).

Codificação dos troços		Nº de Sprinklers		Comprimentos dos troços				Factor de		Caudais		Tubo		Diâmetro normalizado		Designação		Pressões		Análise das Perdas de Carga - ΔP						Análise da Velocidade	
N	Início	Fim	Nº	Nº	real	altura	localizado	equivalente	de	intermédio	Q	Q	Classe	D	D	R / NPS	DN	P _i	P _f	J	$\Delta P_{dinâmica}$	$\Delta P_{estática}$	ΔP_{total}	$\Delta P_{acum.R.P.}$	$\Delta P_{acum.R.P. \leq 50,0}$	V	0,5 $\leq V \leq 6,0$
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	kPa	kPa	kPa/m	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	m/s	m/s
1	S2	S1	1	1	2,68	0,00	0,50	3,18	80,0	60,00	60,00	Apo	27,3	33,7	1	DN 25	61,66	56,25	1,702	5,41	0,00	5,41		Não aplicável	1,71	Conforme	
2	S3	S2	2	2	2,66	0,00	0,17	2,83	80,0	62,82	122,82	Apo	27,3	33,7	1	DN 25	79,79	61,66	6,405	18,13	0,00	18,13		Não aplicável	3,50	Conforme	
3	S4	S3	3	3	2,66	0,00	0,21	2,87	80,0	65,18	188,00	Apo	36,0	42,4	1 1/4	DN 32	90,29	79,79	3,660	10,50	0,00	10,50		Não aplicável	3,08	Conforme	
4	S5	S4	4	4	2,66	0,00	0,25	2,91	80,0	70,14	258,14	Apo	41,9	48,3	1 1/2	DN 40	99,43	90,29	3,142	9,14	0,00	9,14		Não aplicável	3,12	Conforme	
5	A	S5	5	5	2,96	0,00	0,33	3,29	271,7	73,61	331,75	Apo	53,1	60,3	2	DN 50	104,62	99,43	1,577	5,19	0,00	5,19	37,30	Conforme	2,50	Conforme	
6	B	A	6	5	2,83	0,00	0,33	3,16	271,7		331,75	Apo	53,1	60,3	2	DN 50	109,60	104,62	1,577	4,98	0,00	4,98	32,21	Conforme	2,50	Conforme	
7	C	B	7	10	2,83	0,00	0,41	3,24	271,7	355,51	687,27	Apo	68,9	76,1	2 1/2	DN 65	115,13	109,60	1,706	5,53	0,00	5,53	27,23	Conforme	3,07	Conforme	
8	D	C	8	12	2,83	0,00	0,41	3,24	271,7	152,81	840,07	Apo	68,9	76,1	2 1/2	DN 65	123,15	115,13	2,474	8,01	0,00	8,01	21,70	Conforme	3,76	Conforme	
9	E	D	9	12	2,83	0,00	0,50	3,33	271,7		840,07	Apo	80,9	88,9	3	DN 80	126,92	123,15	1,132	3,77	0,00	3,77	13,68	Conforme	2,73	Conforme	
10	F	E	10	25	2,83	0,00	0,50	3,33	271,7		840,07	Apo	80,9	88,9	3	DN 80	130,68	126,92	1,132	3,77	0,00	3,77	9,91	Conforme	2,73	Conforme	
11	G	F	11	30	4,93	0,00	0,50	5,43	271,7			Apo	80,9	88,9	3	DN 80	136,83	130,68	1,132	6,15	0,00	6,15	6,15	Conforme	2,73	Conforme	

Fig. 85 - Resultados do dimensionamento: config. em pente. Fig. do Autor.

Codificação dos troços				Nº de Sprinklers				Comprimentos dos troços				Factor de		Caudais		Tubo		Diâmetro normalizado		Designação		Pressões						Análise das Perdas de Carga - ΔP						Análise da Velocidade	
N	Início	Fim	Nº	Nº	real	altura	localizado	equivalente	de	intermédio	Q	Q	Classe	D	D	R / NPS	DN	P _i	P _f	J	$\Delta P_{dinâmica}$	$\Delta P_{estática}$	ΔP_{total}	$\Delta P_{acum.R.P.}$	$\Delta P_{acum.R.P. \leq 50,0}$	V	0,5 $\leq V \leq 6,0$								
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	kPa	kPa	kPa/m	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	m/s	m/s								
1	S2	S1	1	1	3,13	0,00	0,50	3,63	80,0	64,24	64,24	Apo	27,3	33,7	1	DN 25	63,37	56,36	1,931	7,01	0,00	7,01		Não aplicável	1,83	Conforme									
2	S3	S2	2	2	3,11	0,00	0,17	3,28	80,0	61,50	125,74	Apo	27,3	33,7	1	DN 25	85,31	63,37	6,689	21,94	0,00	21,94		Não aplicável	3,58	Conforme									
3	A	S3	3	3	1,50	0,00	0,21	1,71	80,0	64,24	189,97	Apo	36,0	42,4	1 1/4	DN 32	91,69	85,31	3,731	6,38	0,00	6,38		Não aplicável	3,11	Conforme									
4	S5	S4	1	1	1,50	0,00	0,17	1,67	80,0	60,00	60,00	Apo	27,3	33,7	1	DN 25	59,09	56,25	1,702	2,84	0,00	2,84		Não aplicável	1,71	Conforme									
5	S6	S5	2	2	3,13	0,00	0,17	3,30	80,0	61,50	121,50	Apo	27,3	33,7	1	DN 25	79,81	59,09	6,278	20,72	0,00	20,72		Não aplicável	3,46	Conforme									
6	A	S6	3	3	3,11	0,00	0,21	3,32	80,0	64,24	185,74	Apo	36,0	42,4	1 1/4	DN 32	91,69	79,81	3,579	11,88	0,00	11,88		Não aplicável	3,04	Conforme									
7	B	A	6	6	2,66	0,00	0,33	2,99	0,0	0,00	375,71	Apo	53,1	60,3	2	DN 50	97,63	91,69	1,985	5,93	0,00	5,93	33,97	Conforme	2,83	Conforme									
8	C	B	12	12	2,66	0,00	0,41	3,07	0,0	0,00	720,00	Apo	68,9	76,1	2 1/2	DN 65	103,33	97,63	1,860	5,71	0,00	5,71	28,03	Conforme	3,22	Conforme									
9	D	C	12	18	2,66	0,00	0,41	3,07	0,0	0,00	720,00	Apo	68,9	76,1	2 1/2	DN 65	109,04	103,33	1,860	5,71	0,00	5,71	22,32	Conforme	3,22	Conforme									
10	E	D	12	24	2,66	0,00	0,50	3,16	0,0	0,00	720,00	Apo	80,9	88,9	3	DN 80	111,73	109,04	0,851	2,69	0,00	2,69	16,62	Conforme	2,34	Conforme									
11	F	E	12	30	2,97	0,00	0,50	3,47	0,0	0,00	720,00	Apo	80,9	88,9	3	DN 80	114,68	111,73	0,851	2,95	0,00	2,95	13,93	Conforme	2,34	Conforme									
12	G	F	12	30	12,90	0,00	0,50	12,90	0,0	0,00	720,00	Apo	80,9	88,9	3	DN 80	125,66	114,68	0,851	10,98	0,00	10,98	10,98	Conforme	2,34	Conforme									

Fig. 86 - Resultados do dimensionamento: config. em árvore. Fig. do Autor.

5.3.5. IMPORTAÇÃO PARA O REVIT

No quinto, e último, passo do caminho para a resolução do problema hidráulico, após a estruturação e exportação da tubagem e a realização do dimensionamento da rede na folha de cálculo da APTA, importam-se os diâmetros para a tubagem no modelo Revit concluindo-se o processo hidráulico.

O grafo H (Figura 87) está elaborado de forma a aceitar cinco *inputs*: o *system name* (nome do sistema); o diretório da folha de cálculo do Excel; a opção de ajustar os diâmetros dos acessórios; as famílias dos acessórios do tipo “tê” e do tipo joelho presentes na rede. Devolve, como *output*, a atualização dos diâmetros da tubagem no modelo e, se for solicitado, o ajuste dos diâmetros dos acessórios.

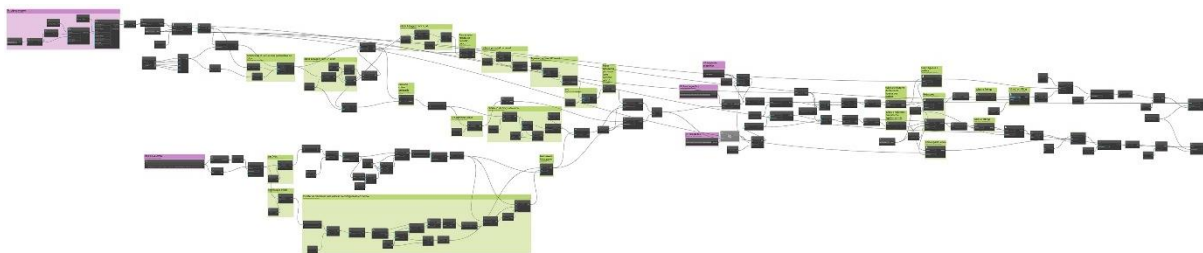


Fig. 87 - Grafo H: Importação para o Revit (Dynamo). Fig. do Autor.

O *script* H inicia com um passo zero, assim como todos os *scripts* na otimização hidráulica, no qual o utilizador identifica o sistema para o qual pretende importar os diâmetros, através da identificação do *system name*.

A seguir, filtra-se o sistema para obter apenas a tubagem, excluindo-se os *sprinklers* e acessórios, e recolhe-se a sua informação. O conteúdo alojado nos parâmetros “*R_Lvl*” e “*CP_num*” de cada troço de tubagem é extraído, assim como o “*element ID*”.

Depois, a tubagem do caminho crítico é separada dos restantes tubos e é ordenada através do valor alojado no “CP_num”. Após a ordenação, a tubagem é identificada através do seu “element ID” e os diâmetros são importados da folha de cálculo da APTA e estabelecidos na tubagem (do caminho crítico).

Por sua vez, os troços de tubagem dos ramaís não críticos são ordenados e agrupados segundo o seu nível (valor alojado no “R_lvl”). Com os troços dos ramaís organizados por grupos, os tubos são identificados com base no seu “element ID”. Atribui-se um diâmetro a cada nível, com base nos diâmetros dimensionados para o caminho crítico.

Após correr o grafo H, verifica-se que, em algumas famílias de acessórios, não há ajuste automático das suas dimensões depois de os diâmetros serem atribuídos no modelo. A segunda parte do grafo é dedicada ao ajuste dessas famílias de acessórios.

Resumidamente, o *script* obtém a tubagem conectada aos elementos que pertencem às famílias de “tês” e joelhos, previamente selecionados, e ajusta o diâmetro do acessório para o maior dos diâmetros dos tubos conectados a esse mesmo acessório.

Nas Figuras 88 e 89, estão representados os resultados depois de correr o grafo H, para as configurações em pente (Figura 88) e em árvore (Figura 89), no compartimento exemplo (vistas em planta). Do lado direito das imagens, está presente um excerto da folha de cálculo da APTA, contemplando a codificação dos troços e os seus diâmetros. A ferramenta “OneFilter” do *plug-in* DiRootsOne (ver 3.3.3.1) permite aplicar um filtro de cores que diferencia a tubagem conforme o seu diâmetro. O Quadro 22 contém a legenda que faz a correspondência entre os diâmetros e as cores.

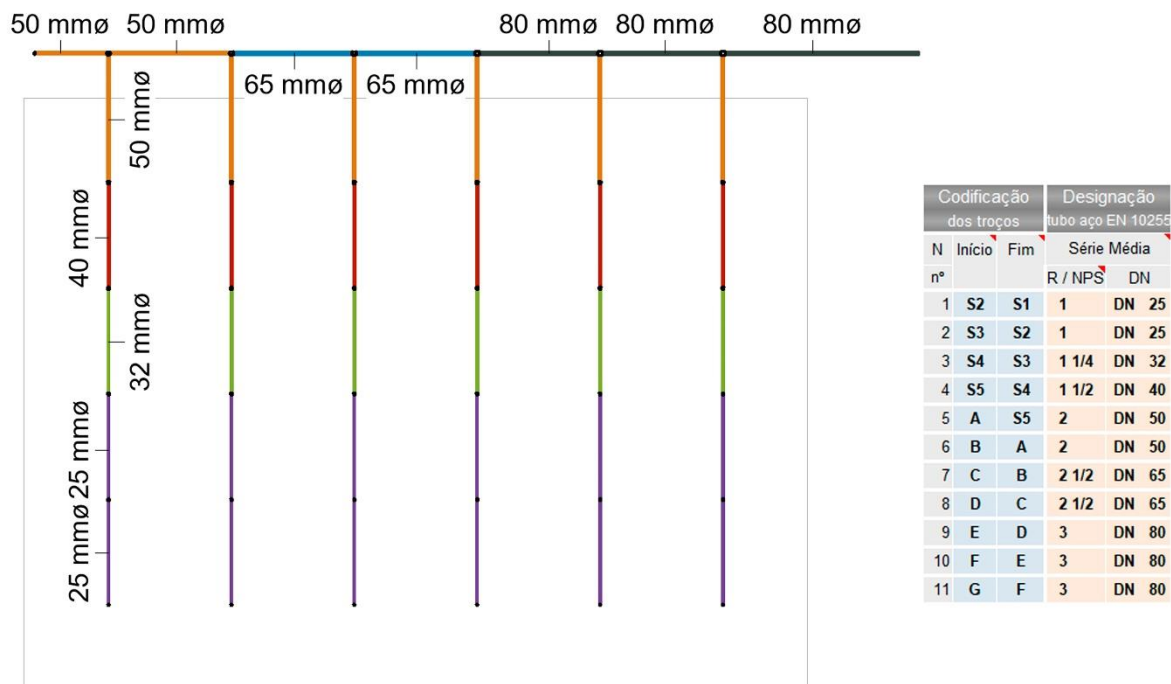


Fig. 88 - Diâmetros atribuídos: config. em pente (Revit). Fig. do Autor.

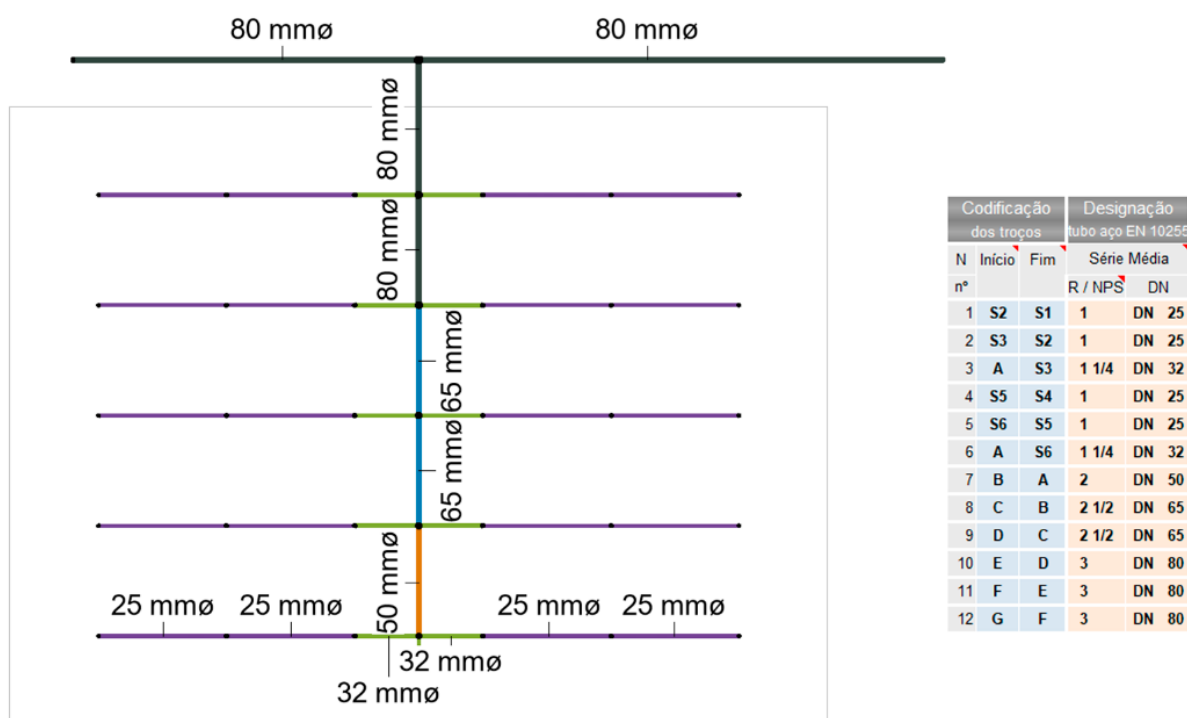


Fig. 89 - Diâmetros atribuídos: config. em árvore (Revit). Fig. do Autor.

Quadro 22 - Esquema de cores: diâmetros. Quadro do Autor.

Diâmetro (mm)	Cor
DN 25	
DN 32	
DN 40	
DN 50	
DN 65	
DN 80	

5.4. MEDIDAS ORIENTADORAS / EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO

O intuito da produção de todos os algoritmos anteriores é otimizar/acelerar o processo de desenho e dimensionamento de uma rede de *sprinklers*. Por esse motivo, neste subcapítulo, são estabelecidas medidas orientadoras e procedimentos universais a qualquer projeto, de forma a tornar mais eficiente todo o processo.

Procedimento pré-modelação:

1. Preparação dos grafos no *Dynamo*, para serem corridos no *Dynamo Player* (Figura 90);
2. Composição de um *template* no *Revit* com tipos de tubagem, famílias de acessórios e *sprinklers*, e outros elementos necessários para a modelação da rede. No *template*, devem estar contemplados, também, os parâmetros partilhados (“*Host_Room*”, “*Critical path*”, “*CP_num*”

e “R_Lvl”). Estes têm que ser atribuídos à tubagem e, no caso do “Host_room”, também aos acessórios.

Nota: Caso não se tenha um template preparado, os parâmetros podem ser importados para os modelos Revit e atribuídos às diversas famílias e categorias com bastante eficiência, através da ferramenta “ParaManager” do plug-in DiRootsOne.

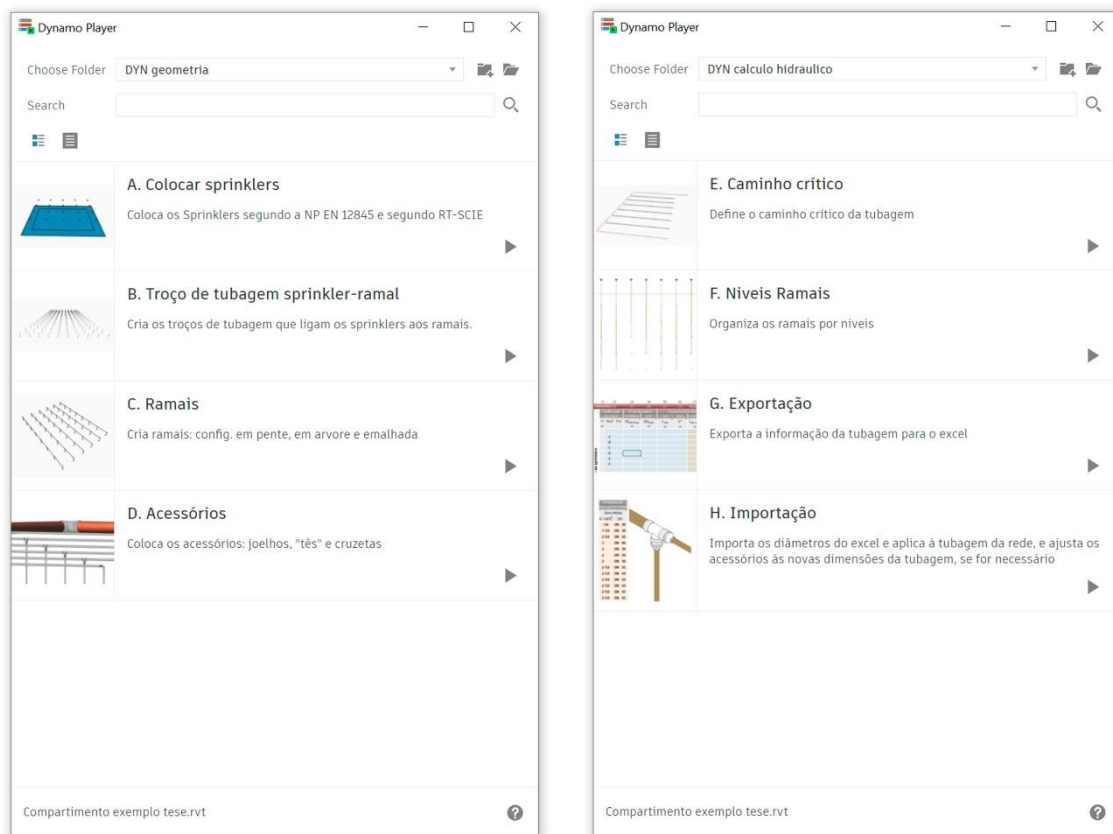


Fig. 90 - Grafos de otimização de redes de sprinklers no Dynamo Player: Fig. do Autor.

Procedimento de desenho e dimensionamento da rede:

1. Definir os *rooms*, após a receção do projeto no modelo Revit (se ainda não estiverem definidos);
2. Correr o grafo A (“colocação de *sprinklers*”) para cada *room* individualmente;
3. Correr o grafo B (“colocação dos troços de tubagem *sprinkler-ramal*”) para vários *rooms*, em simultâneo ou individualmente;
4. Modelar o coletor principal manualmente;
5. Correr o grafo C (“colocação dos ramaís”) para cada *room* individualmente;
6. Correr o grafo D (“colocação dos acessórios”) para vários *rooms*, em simultâneo ou individualmente;
7. Correr o grafo E (“determinação do caminho crítico”) para cada sistema individualmente;
8. Verificar, visualmente, o caminho crítico, através do filtro de cores aplicado com o “OneFilter”;

9. Correr o grafo F (“organização dos ramais por níveis”) para cada sistema individualmente;
10. Verificar, visualmente, os níveis dos ramais, através do filtro de cores aplicado com o “OneFilter”;
11. Efetuar ajustes manuais, caso se detetem erros nos pontos 8 e 10;
12. Correr o grafo G (exportação para o *Excel*) para cada sistema individualmente;
13. Efetuar o cálculo hidráulico da rede na folha de cálculo da APTA (dimensionar a tubagem, a CBSI e o RASI);
14. Correr o grafo H (importação para o *Revit*) para cada sistema individualmente;
15. Modelar manualmente a tubagem de aspiração, a CBSI, o RASI e o posto de comando.

Como complemento à compreensão e à leitura, preparou-se um vídeo, demonstrando a aplicação do modelo de otimização (geométrica e hidráulica) ao compartimento exemplo. Este pode ser acedido através do scan do seguinte código QR (Figura 91) ou, em caso de leitura do documento em formato digital, clicando no próprio código QR.



Fig. 91 - Código QR de acesso ao vídeo. Fig. do Autor.

6

ESTUDO DE CASO

6.1. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Este capítulo tem como objetivo, numa primeira fase, introduzir o caso de estudo, e numa segunda fase, fazer a aplicação do modelo de otimização desenvolvido no capítulo anterior.

O caso de estudo é um projeto de um edifício destinado ao armazenamento de produtos alimentares, cuja construção está prevista em Vila Nova de Gaia, no distrito do Porto.

Na Figura 92, são exibidas vistas tridimensionais do edifício, nas quais se encontram modeladas soluções provisórias para as paredes e cobertura (imagem superior, vista de nordeste, e imagem inferior, vista de sudoeste). Tal abordagem é justificada pela ausência de definição das soluções construtivas definitivas. No entanto, as soluções estruturais estão definidas e podem ser observadas na Figura 93.

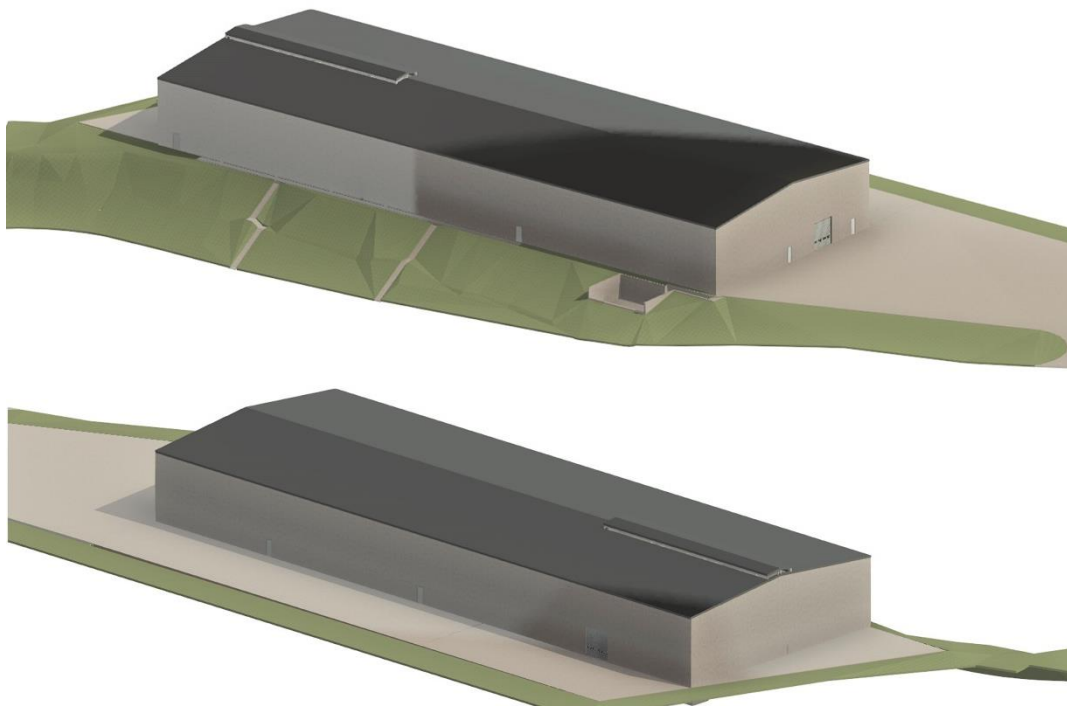


Fig. 92 - Isometrias: caso de estudo. Fig. do Autor.

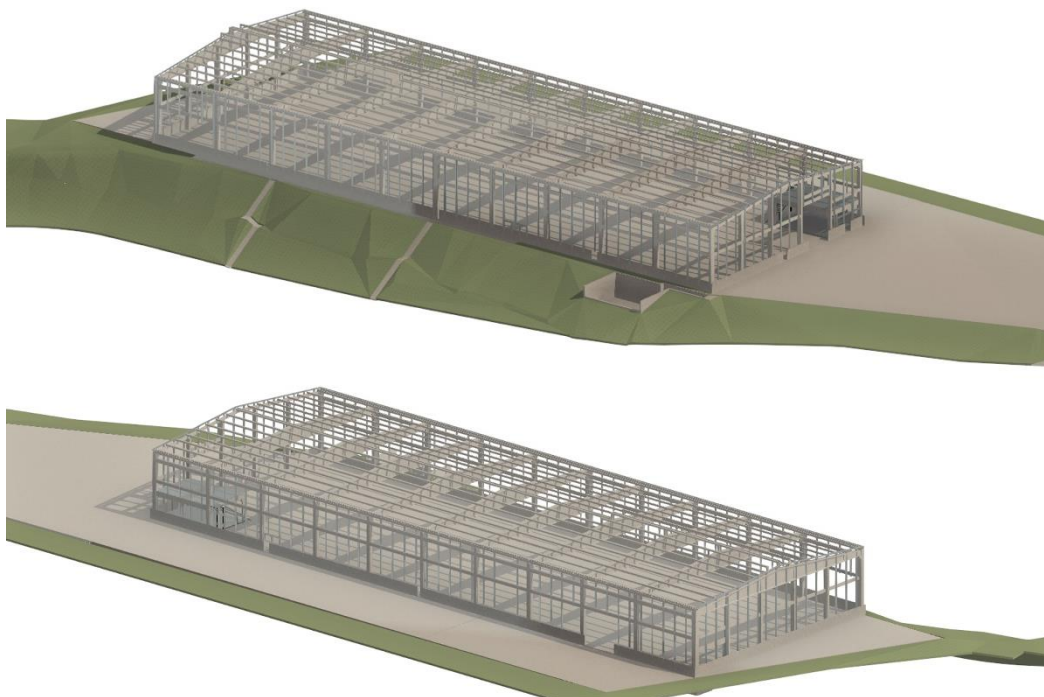


Fig. 93 - Isometrias estruturais: caso de estudo. Fig. do Autor.

O edifício conta com uma área bruta de, sensivelmente, 3395 m², com dimensões de 97 m x 35 m e apresenta uma cêrcea de 11,5 m. No interior do edifício, encontra-se uma área destinada ao armazenamento dos produtos, com estantes apropriadas para esse fim. Além disso, há um espaço de escritório com dois andares, bem como uma zona específica designada para carga e descarga de veículos de distribuição.

A Figura 94 apresenta o *layout* do edifício, na qual é possível observar os diferentes espaços. A planta foi despromovida de elementos estruturais.

Espaços

Armazenamento
Cargas e descargas
Escritório

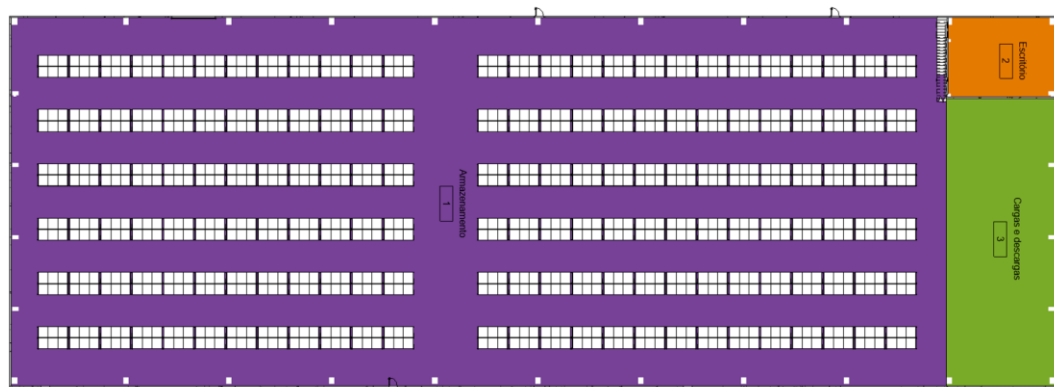


Fig. 94 - Layout do edifício: caso de estudo. Fig. do Autor.

A área útil destinada ao armazenamento e às operações de carga e descarga compreende um total de 3202 m², enquanto a área útil dedicada aos escritórios, disposta em dois andares, possui uma dimensão de 142 m².

Na Figura 95, encontram-se outras peças desenhadas do projeto para complementar a caracterização do edifício.

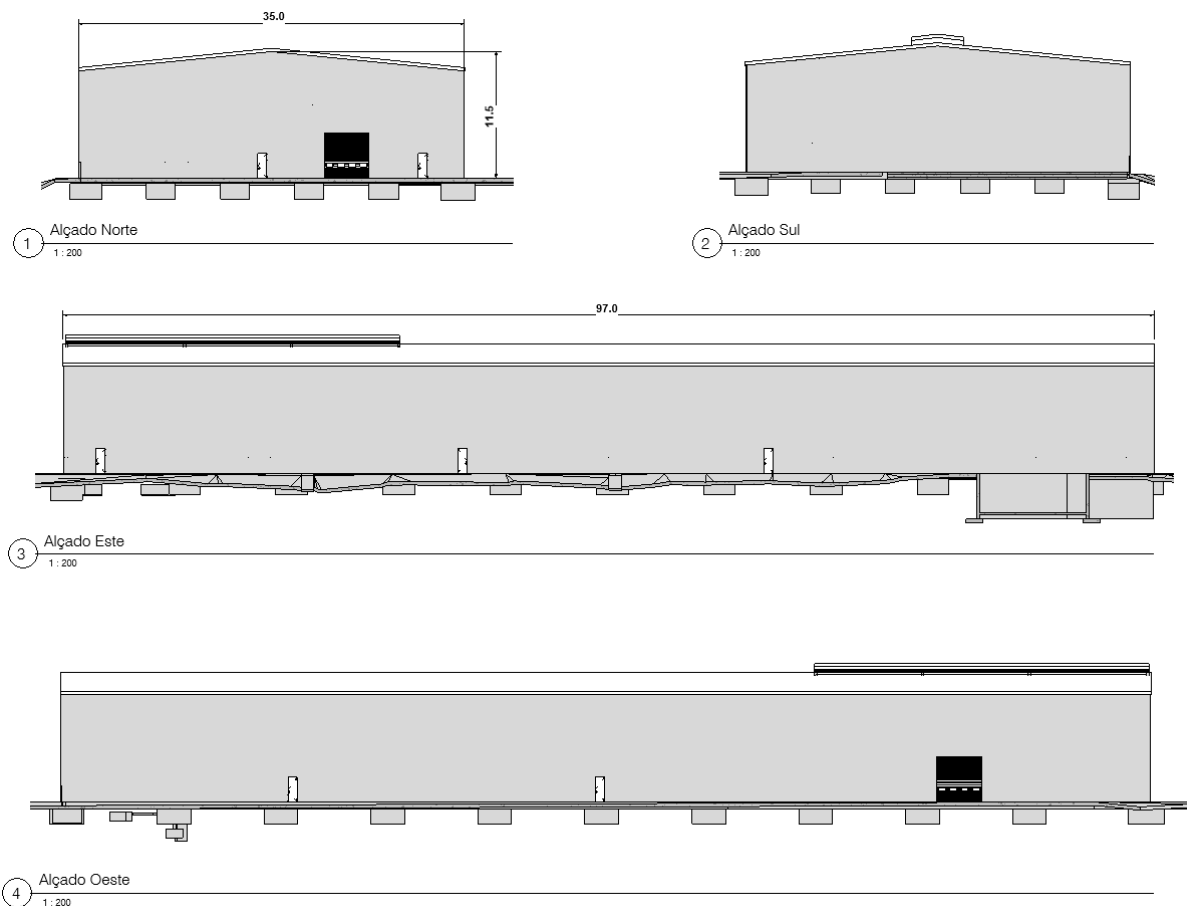


Fig. 95 - Alçados: caso de estudo. Fig. do Autor.

O edifício em questão destina-se ao armazenamento de produtos alimentares, abrangendo uma variedade de itens como bebidas, incluindo água, sumos, refrigerantes, cerveja e outras bebidas com baixo teor alcoólico. Além disso, também são armazenadas conservas, produtos enlatados, snacks diversos, arroz, massa, entre outros produtos alimentares.

Para o seu armazenamento, são utilizadas paletes autoportantes, organizadas em filas duplas, alcançando uma altura de 4,6 m. Cada fila dupla possui uma largura de 2 m e estende-se por 40 m de comprimento. Os corredores adjacentes às filas têm uma largura de 3 m. A Figura 96 expõe a disposição das estantes.

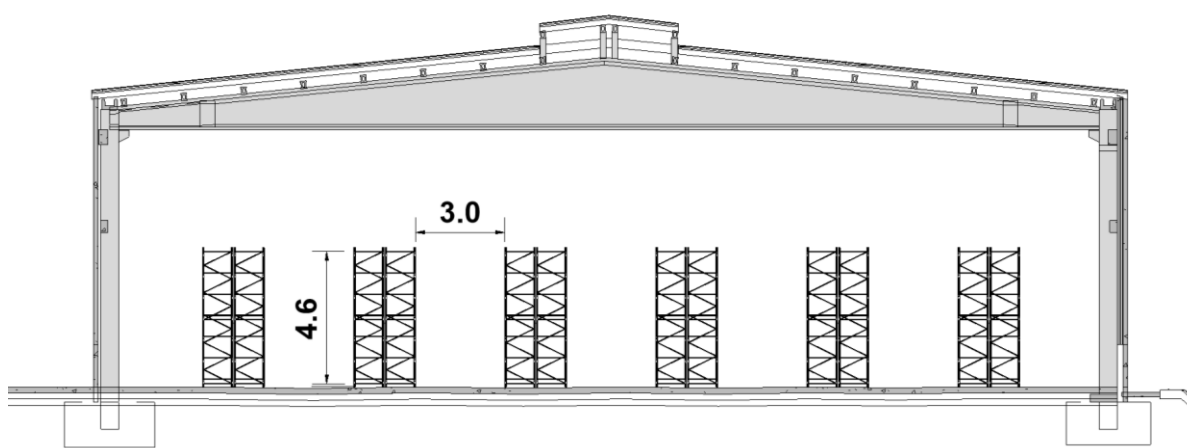


Fig. 96 - Corte na zona de armazenamento: caso de estudo. Fig. do Autor.

6.2. CLASSIFICAÇÃO DO RISCO (SCIE)

6.2.1. REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA

Na abordagem inicial ao edifício, do ponto de vista da SCIE, é necessário proceder à caracterização dos espaços. O edifício conta com o escritório que se classifica como UT III e com o armazém (zona de armazenamento e cargas e descargas) que se classifica como UT XII, logo conta com duas UT's.

No entanto, de acordo com o artigo 8.º do RJ-SCIE [16], os espaços integrados na UT XII que desenvolvam atividades administrativas necessárias ao funcionamento das entidades que exploram a UT XII são regidos pelas disposições gerais e específicas aplicáveis à UT XII. Contudo, essa aplicação ocorre apenas se esses espaços forem geridos sob a responsabilidade das mencionadas entidades, não estiverem normalmente acessíveis ao público e não possuírem uma área bruta superior a 20% da área bruta afeta à UT XII.

O escritório (UT III) possui cerca de 5% da área bruta afeta ao armazém (UT XII) e cumpre as restantes condições supramencionadas, sendo, consequentemente, embebido na UT XII.

Segue-se, então, a definição da categoria do risco da UT XII. Esta depende do número de pisos ocupados abaixo do plano de referência, se é um espaço coberto ou ao ar livre e depende da densidade de carga de incêndio modificada (DCIM). O fator condicionante, neste caso, é a DCIM, que assume um valor superior a 5 000 MJ/m², o que faz com que a categoria de risco da UT XII seja de nível 3.

De acordo com o Quadro 5, em 2.1.4.6, para a categoria de risco de nível 3 em indústrias, oficinas e armazéns (UT XII), é necessária a instalação de SAEI.

No escritório, vai ser instalado um sistema de extinção com agente extintor diferente de água, logo esse espaço está dispensado da proteção de SAEI por água.

6.2.2. NORMA EUROPEIA

Segundo a NP EN 12845 [38], o risco global de incêndio das mercadorias armazenadas é função da combustibilidade, incluindo a sua embalagem e configuração de armazenamento.

No que diz respeito à configuração de armazenamento, o espaço está munido de paletes autoportantes em filas duplas, logo classifica-se como ST3.

O armazém, não apresenta nenhum risco especial, no entanto, contém plásticos, por isso, é utilizado o Anexo B da norma para a metodologia de quantificação do risco. É necessário estimar o fator material que considera a combustibilidade dos materiais e a quantidade de plástico nos produtos e embalagens. Em geral, estão presentes, no armazém, produtos não combustíveis ou com combustibilidade baixa, possuindo embalagem combustível, e a sua caracterização é, então, o fator material 1. Apresentam, também, uma configuração não especial da armazenagem, o que faz com que a sua categoria de risco seja HHS1 (Armazenamento de Risco Elevado Categoria I).

No que toca a requisitos de proteção e limitação para a configuração ST3 e risco HH, o armazenamento cumpre a área máxima de armazenamento por ilha, estabelecido para 150 m², e a distância mínima livre de obstáculos à volta da ilha, que é 2,4 m.

6.3. ESTRATÉGIA

O objetivo da segunda fase deste capítulo é aplicar o modelo de otimização desenvolvido no capítulo anterior e, em simultâneo, comparar o dimensionamento segundo o RT-SCIE [19] e segundo a NP EN 12845 [38] para um caso real. São estudadas duas configurações (em pente e em árvore) para cada um dos referenciais normativos e é feita uma comparação entre os quatro cenários.

No armazém em questão, é obrigatória a inclusão de meios de primeira intervenção e meios de segunda intervenção, nomeadamente redes de incêndio armadas do tipo carretel e do tipo teatro. No entanto, para uma análise exclusiva dos SAEI, omite-se o seu contributo para o cálculo futuro do RASI.

Antes da análise de cada configuração, é pertinente definir as características de projeto seguindo os procedimentos propostos em 4.2. No Quadro 23, estão definidas as seguintes características: a classificação de risco ou utilização-tipo, a área de operação (A_o), a densidade de descarga (q_{unit}), o tempo de autonomia das redes de *sprinklers* (TS), o número de *sprinklers* em funcionamento simultâneo (NS_{sim}), o fator "K" dos *sprinklers*, a área de cobertura máxima por *sprinkler* (A_s), o caudal mínimo necessário por *sprinkler* (Q_{minS}) e a pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede (P_{minS}).

Foram selecionados *sprinklers* de ampola de vidro para serem instalados na orientação pendente, com cobertura normal e tempo de resposta normal, para atuarem à temperatura de projeto de 68 °C. Foi escolhido o fator "K" mínimo permitido. Para este caso específico, segundo o RT-SCIE [19], o fator "K" mínimo a ser utilizado é de 115, enquanto que, de acordo com a NP EN 12845 [38], é de 80.

Quadro 23 - Características de projeto: RT-SCIE vs NP EN 12845. Quadro do Autor.

Referencial normativo	CR/UT	A_o	q_{unit}	TS	NS_{sim}	Fator "K"	A_s	Q_{minS}	P_{minS}
RT-SCIE	XII	260	10	90	29	115	9	90	61,2
NP EN 12845	HHS1 ST3	260	7,5	90	29	80	9	67,5	71,2
Unidades	-	m ²	(l/min)/m ²	min	-	l/min.bar ^{1/2}	m ²	l/min	KPa

Nas Figuras 97 e 98, é apresentada a colocação dos *sprinklers* no armazém, tanto em planta como em corte, utilizando o grafo A (conforme descrito em 5.2.2). Os *sprinklers* são instalados à cota de 7,50 m e, neste caso, os elementos estruturais não causam obstruções. Portanto, o layout dos *sprinklers* acaba por ser idêntico para os dois referenciais normativos. O espaçamento entre *sprinklers* é de 2,81 m na

direção da fachada menor do edifício e 2,91 m na direção da fachada maior. No total, são colocados 384 *sprinklers*.

É importante lembrar que a proteção do escritório será realizada com outro tipo de SAEI, com um agente extintor diferente. Deste modo, o escritório não é incluído na área de cobertura da rede de *sprinklers*.

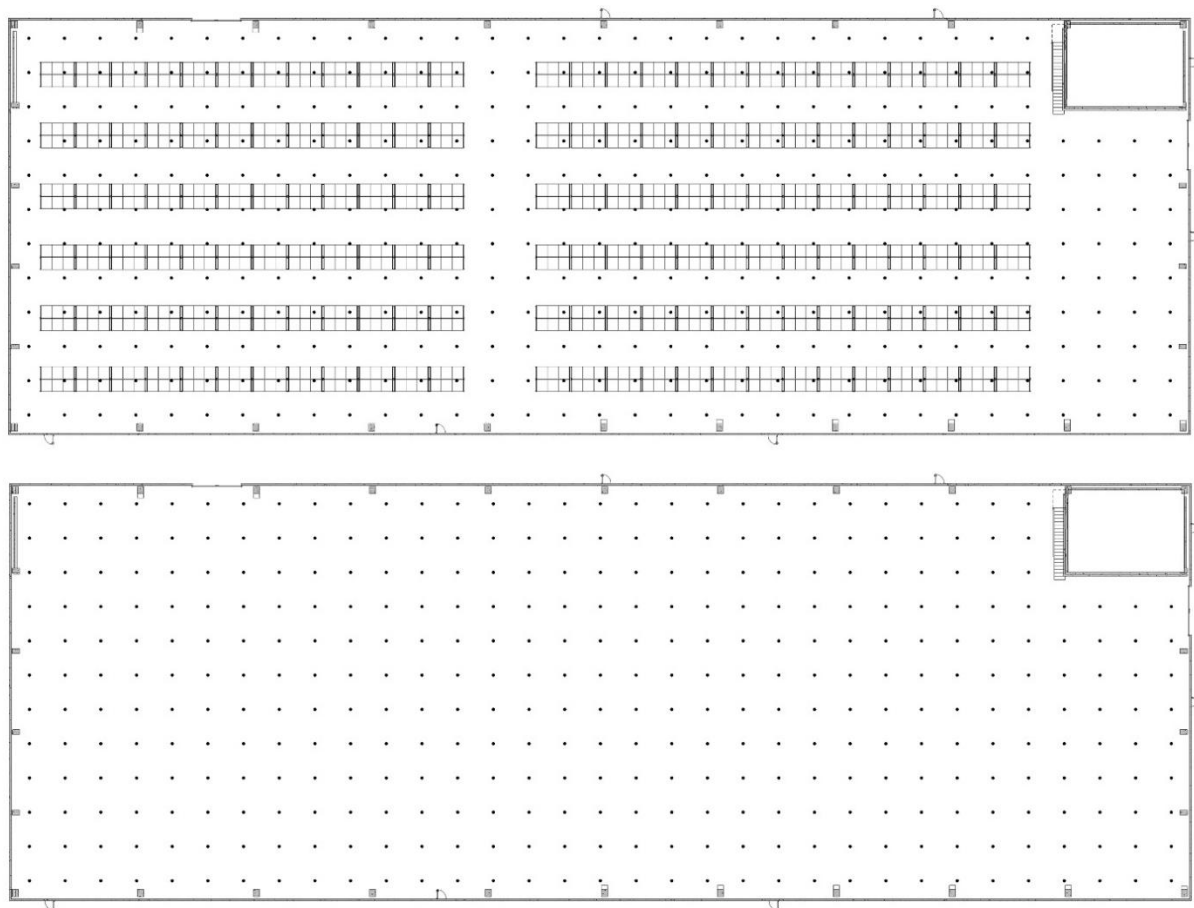


Fig. 97 - *Sprinklers* colocados: vista em planta com e sem as estantes. Fig. do Autor.

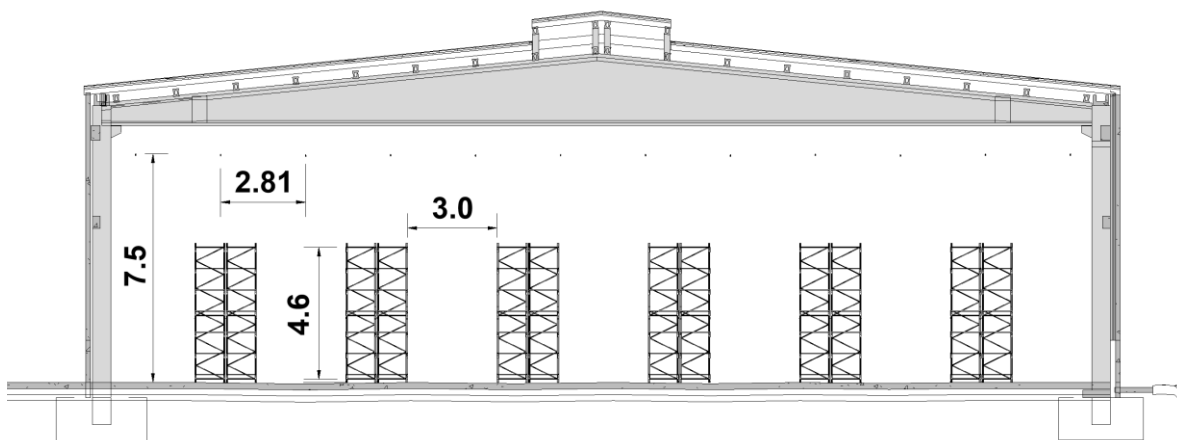


Fig. 98 - *Sprinklers* colocados: vista em corte. Fig. do Autor.

6.4. CONFIGURAÇÃO EM PENTE

6.4.1. TRAÇADO DA REDE

O *layout* dos *sprinklers* é o mesmo para os dois referenciais normativos, o que significa que o traçado da rede também será idêntico. A geometria da instalação é definida recorrendo aos grafos B, C e D (ver 5.2) e a localização do RASI foi recomendada, anteriormente, por outras partes envolvidas no projeto. Nas Figuras 99, 100 e 101, é apresentado o desenho da rede, para a configuração em pente, incluindo a localização do RASI e da CBSI. Na Figura 101, é incluída a codificação dos troços da rede.

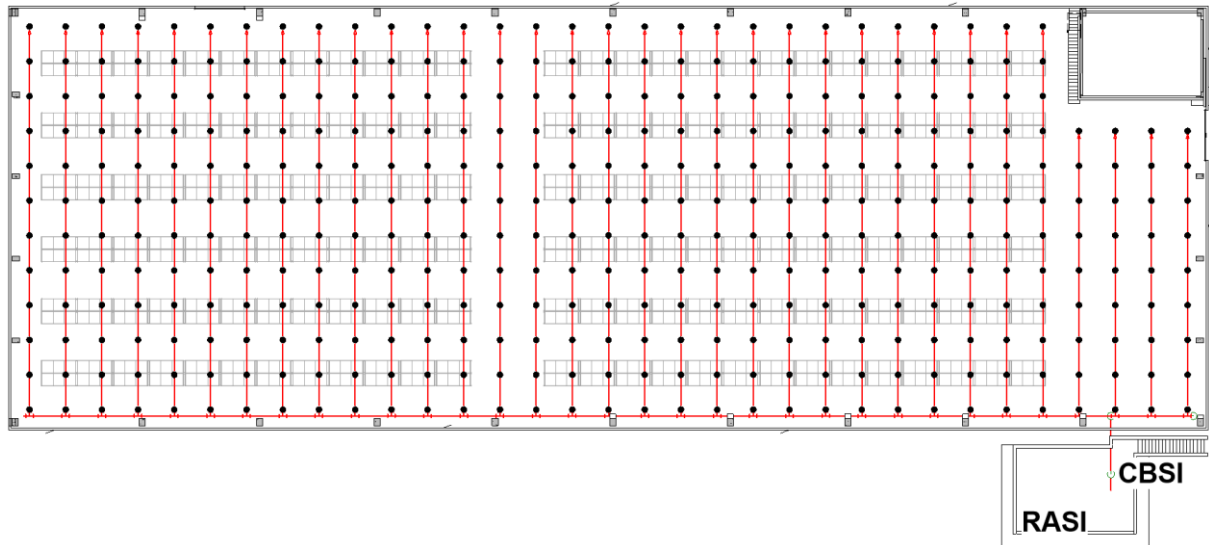


Fig. 99 - Config. em pente: vista em planta. Fig. do Autor.

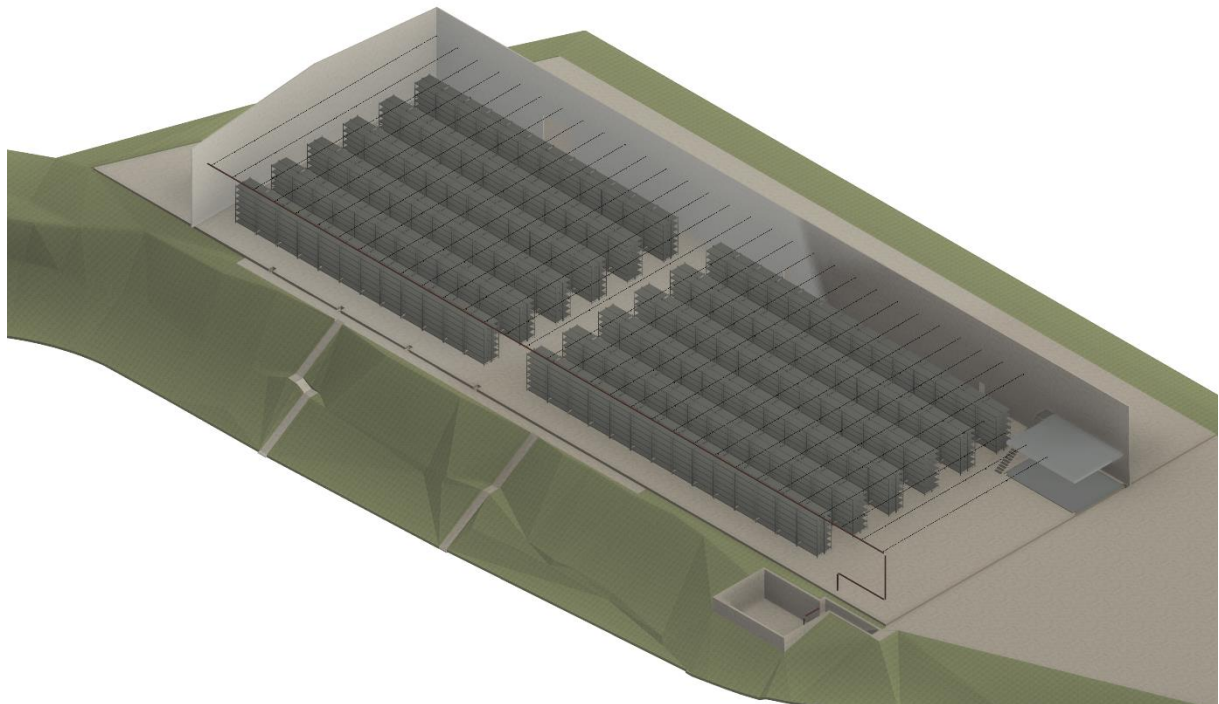


Fig. 100 - Config. em pente: isometria realista. Fig. do Autor.

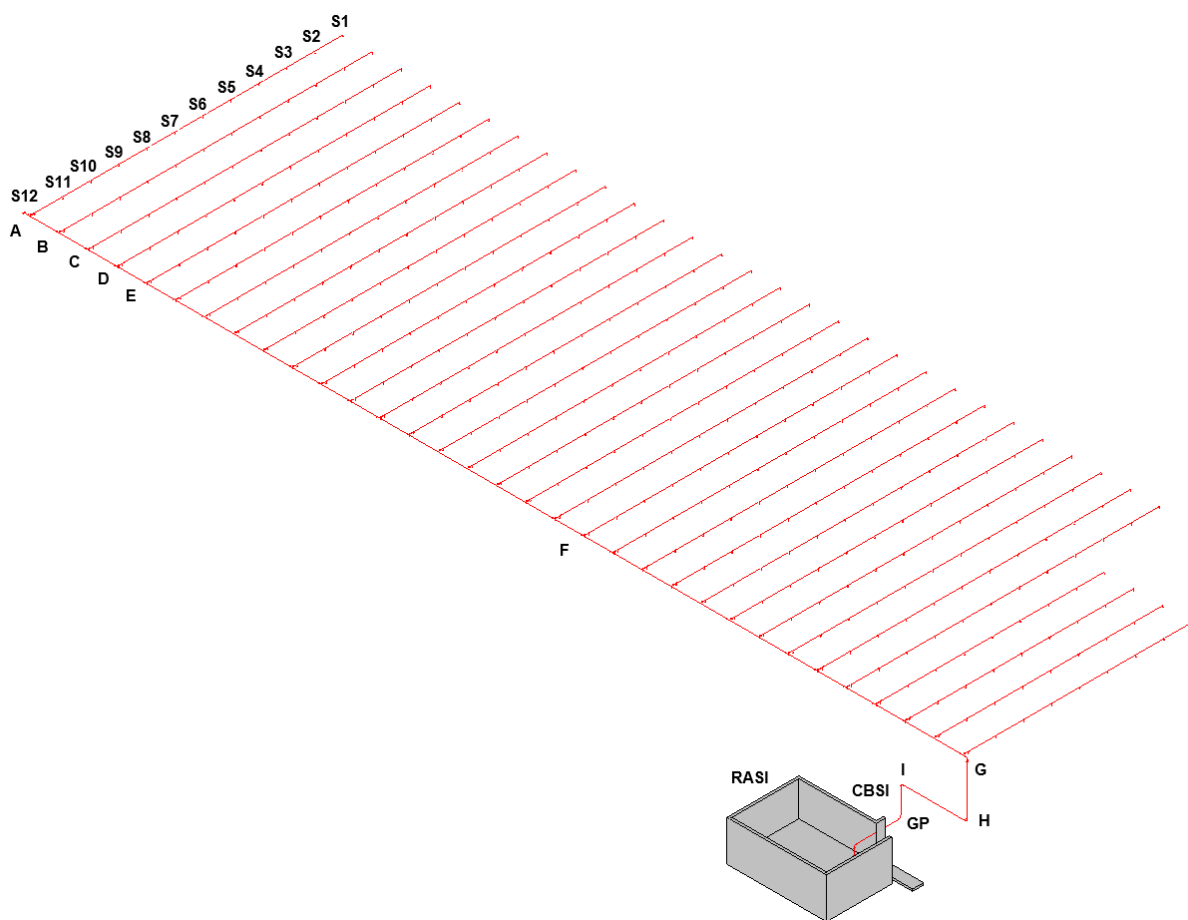


Fig. 101 - Config. em pente: isometria esquemática. Fig. do Autor.

Na codificação dos treços, efetuou-se a junção de vários trechos num único, nos casos de FE e GF, com o objetivo de acomodar toda a tubagem na folha de cálculo (sem prejudicar o processo de dimensionamento).

6.4.2. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA: CENÁRIO 1

A metodologia de cálculo utilizada para os seguintes dimensionamentos é a apresentada no capítulo 4. As folhas de cálculo usadas, nos diferentes cenários, estão disponíveis no Anexo A. A folha utilizada para o dimensionamento do cenário 1, é apresentada na Figura A4 (Anexo A).

Na Figura 102, é demonstrada a atribuição de diâmetros à tubagem. Nesta configuração, existem dois tipos de ramais: o primeiro tipo abastece 12 *sprinklers*, enquanto o segundo tipo abastece 9 *sprinklers*. Na imagem, apenas são indicados os diâmetros dos treços de tubagem de um ramal de cada tipo. Os restantes ramais assumem os diâmetros dimensionados correspondentes aos seus tipos, sendo que existem 29 ramais do primeiro tipo e 4 ramais do segundo tipo.

A Figura 102 está presente, também, no Anexo B (Figura B1), onde os diâmetros de cada trecho de tubagem se encontram mais claros e visíveis.

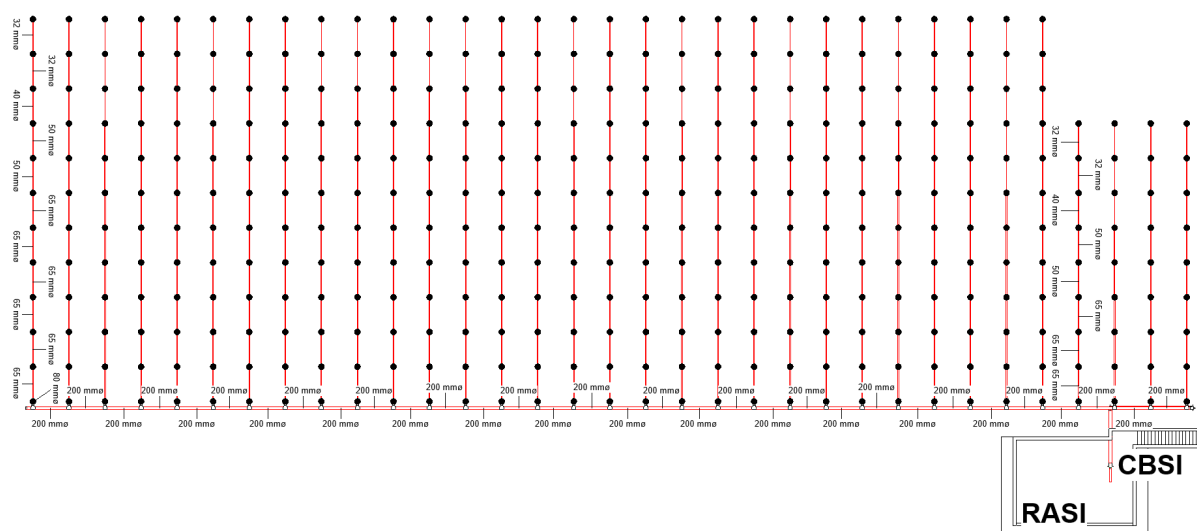


Fig. 102 - Diâmetros atribuídos: cenário 1. Fig. do Autor.

O Quadro 24 apresenta o consumo de tubos da rede por diâmetro, enquanto o Quadro 25 expõe a necessidade de caudal e de pressão da rede. Com o quadro do consumo de tubos, é possível determinar um diâmetro interior médio (fictício) da rede de *sprinklers*. No cenário 1, o valor desse diâmetro é 72,06 mm.

Quadro 24 - Consumo de tubos: cenário 1. Quadro do Autor.

DN 32	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 200	DN 250
178,86 m	89,43 m	178,86 m	504,06 m	6,60 m	84,58 m	14,36 m

Quadro 25 - Necessidades de caudal e de pressão: cenário 1. Quadro do Autor.

Necessidade de caudal (Q_{max})	Necessidade de pressão (P_{max})
3931,7 l/min	365,8 KPa

Para o cálculo do volume do reservatório, utiliza-se o caudal de alimentação das redes de *sprinklers* (QSS), segundo as NT 14 e 15 [55, 56]. Esse caudal é obtido multiplicando a densidade de descarga pela área de operação. Neste caso, o caudal de alimentação assume o valor de 2600 l/min, o que resulta num volume de 234 m³, ao multiplicá-lo pelo tempo de autonomia de 90 minutos.

É importante destacar que o caudal utilizado para o cálculo do reservatório corresponde a 66% da necessidade real de caudal na zona mais desfavorável. Isso significa que, na situação de projeto (zona mais desfavorável com 29 *sprinklers* em funcionamento simultâneo), a rede tem uma autonomia de 60 minutos. Portanto, apresenta uma autonomia 30 minutos inferior ao requerido pelo RT-SCIE [19].

6.4.3. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NORMA EUROPEIA: CENÁRIO 2

Para o cenário 2, a folha de cálculo utilizada para a realizar o dimensionamento é apresentada na Figura A5 (Anexo A).

Na Figura 103, é demonstrada a atribuição de diâmetros à tubagem. Como foi referido no cenário 1, nesta configuração, existem dois tipos de ramais: o primeiro tipo abastece 12 *sprinklers*, enquanto o segundo tipo abastece 9 *sprinklers*. Na imagem, apenas são indicados os diâmetros dos troços de tubagem de um ramal de cada tipo. Os restantes ramais assumem os diâmetros dimensionados correspondentes aos seus tipos.

A Figura 103 está presente, também, no Anexo B (Figura B2), onde os diâmetros de cada troço de tubagem se encontram mais claros e visíveis.

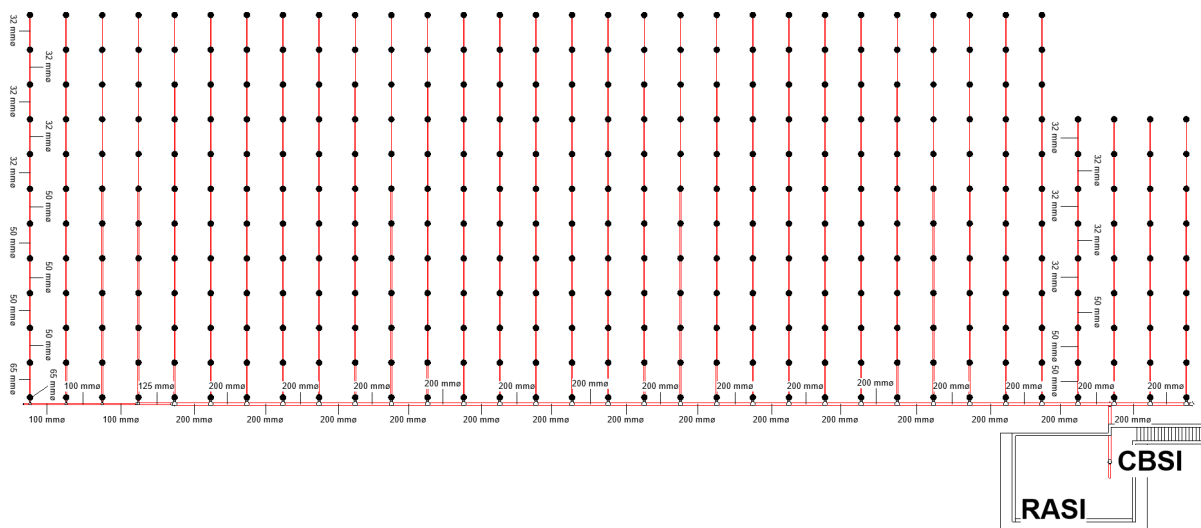


Fig. 103 - Diâmetros atribuídos: cenário 2. Fig. do Autor.

O Quadro 26 apresenta o consumo de tubos da rede por diâmetro, enquanto o Quadro 27 expõe a necessidade de caudal e de pressão da rede. No cenário 2, o diâmetro interior médio é 60,55 mm.

Quadro 26 - Consumo de tubos: cenário 2. Quadro do Autor.

DN 32	DN 50	DN 65	DN 100	DN 125	DN 200
447,15 m	425,47 m	85,19 m	7,92 m	2,64 m	88,38 m

Quadro 27 - Necessidades de caudal e de pressão: cenário 2. Quadro do Autor.

Necessidade de caudal ($Q_{\max}$)	Necessidade de pressão ($P_{\max}$)
2344,7 l/min	426,8 KPa

No caso da NP EN 12845 [38], o cálculo do volume útil do reservatório leva em consideração a situação crítica em caudal. Neste caso, sem a curva da bomba providenciada pelo fabricante, estima-se o caudal máximo ao intercepar uma curva prevista para a fonte de pressão com a curva da instalação na situação mais favorável (crítica em caudal). O volume útil do reservatório é, então, aproximadamente 225 m³.

6.5. CONFIGURAÇÃO EM ÁRVORE

6.5.1. TRAÇADO DA REDE

O *layout* dos *sprinklers* é o mesmo para os dois referenciais normativos, como já foi referido, o que significa que o traçado da rede também será idêntico. A geometria da instalação é definida recorrendo aos grafos B, C e D (ver 5.2) e a localização do RASI e da CBSI mantêm-se, em relação à configuração em pente. Nas Figuras 104, 105 e 106, é apresentado o desenho da rede, para a configuração em árvore. Na Figura 106, é incluída a codificação dos troços da rede.

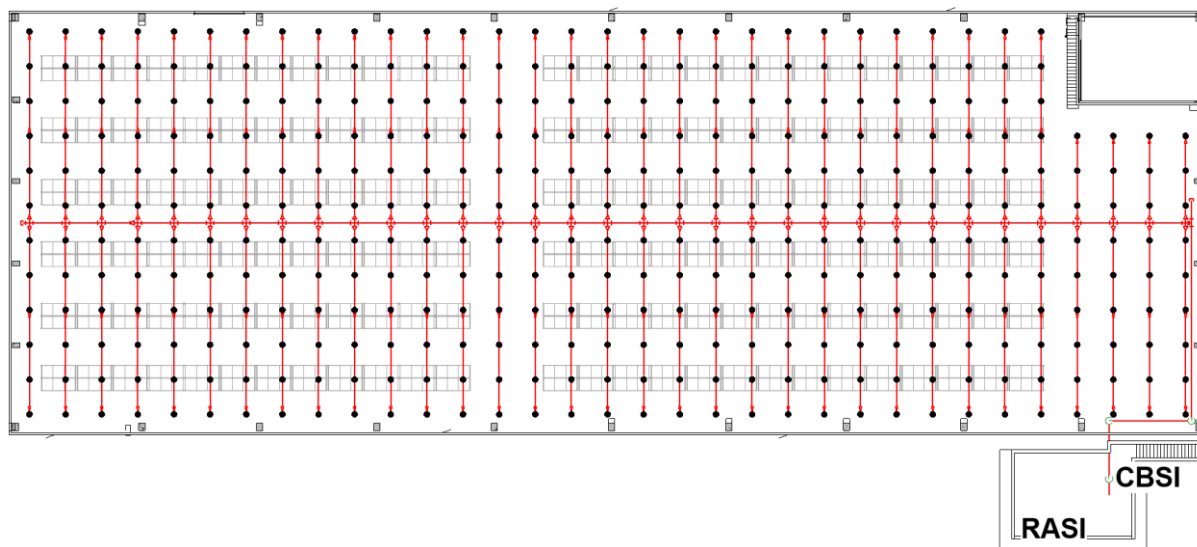


Fig. 104 - Config. em árvore: vista em planta. Fig. do Autor.

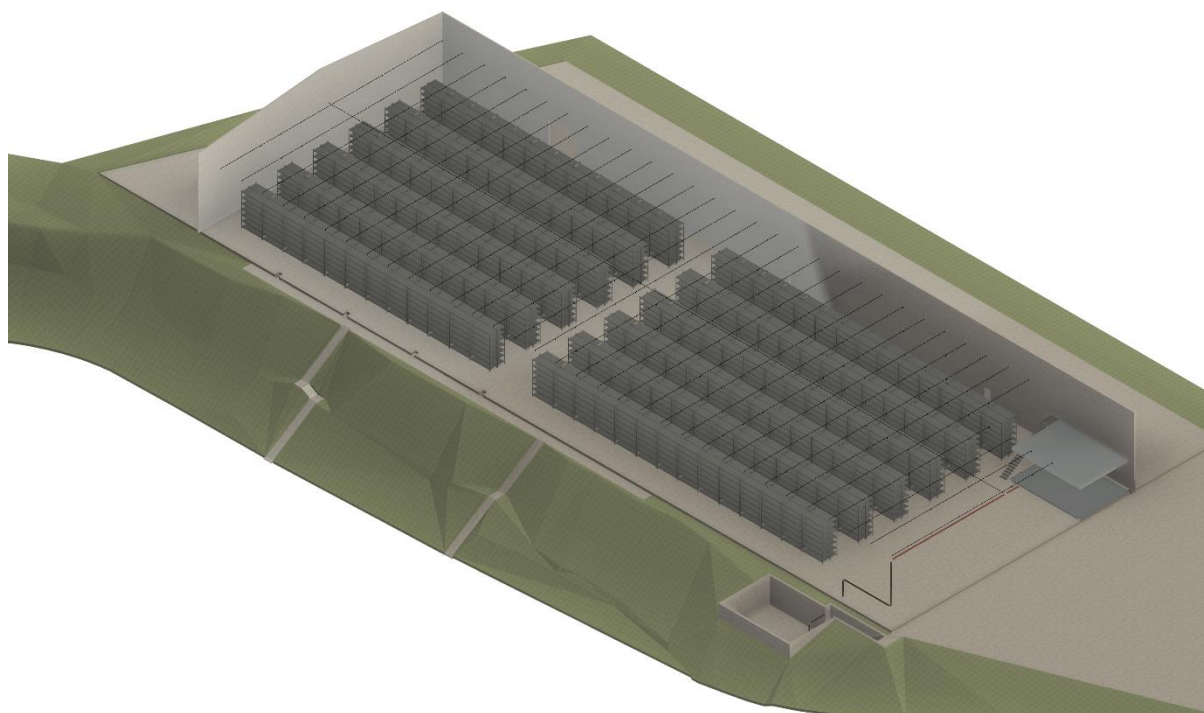


Fig. 105 - Config. em árvore: isometria realista. Fig. do Autor.

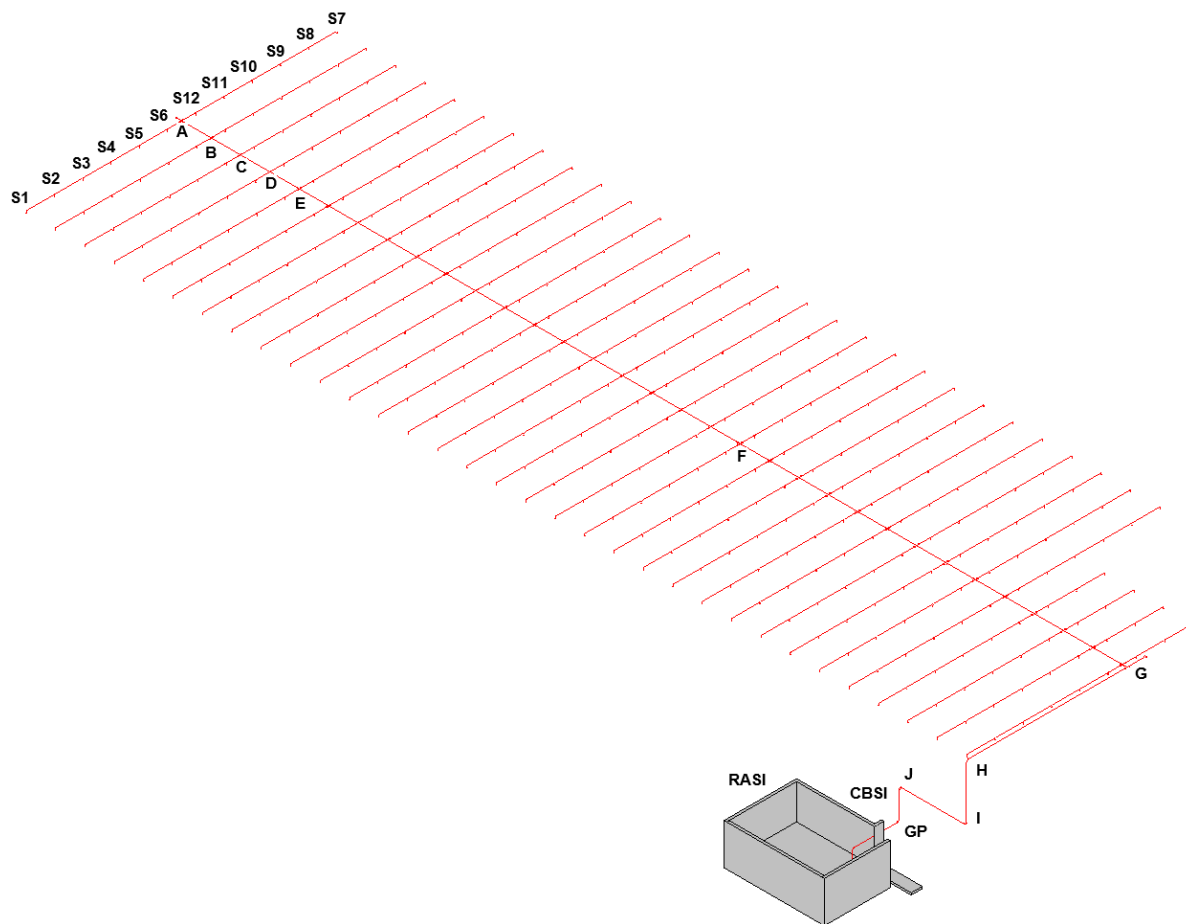


Fig. 106 - Config. em árvore: Isometria esquemática. Fig. do Autor.

Na codificação dos trechos, à semelhança da configuração em pente, efetuou-se a junção de vários trechos num único, nos casos de FE e GF, com o objetivo de acomodar toda a tubagem na folha de cálculo (sem prejudicar o processo de dimensionamento).

6.5.2. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA: CENÁRIO 3

Para o cenário 3, a folha de cálculo utilizada para a realizar o dimensionamento é apresentada na Figura A6 (Anexo A).

Na Figura 107, é demonstrada a atribuição de diâmetros à tubagem. Nesta configuração, existem dois tipos de ramais: o primeiro tipo abastece 6 *sprinklers*, enquanto o segundo tipo abastece 3 *sprinklers*. Na imagem, apenas são indicados os diâmetros dos trechos de tubagem de dois ramais do primeiro tipo e de um ramal do segundo tipo. Os restantes ramais assumem os diâmetros dimensionados correspondentes aos seus tipos, sendo que existem 62 ramais do primeiro tipo e 4 ramais do segundo tipo.

A Figura 107 está presente, também, no Anexo B (Figura B3), onde os diâmetros de cada trecho de tubagem se encontram mais claros e visíveis.

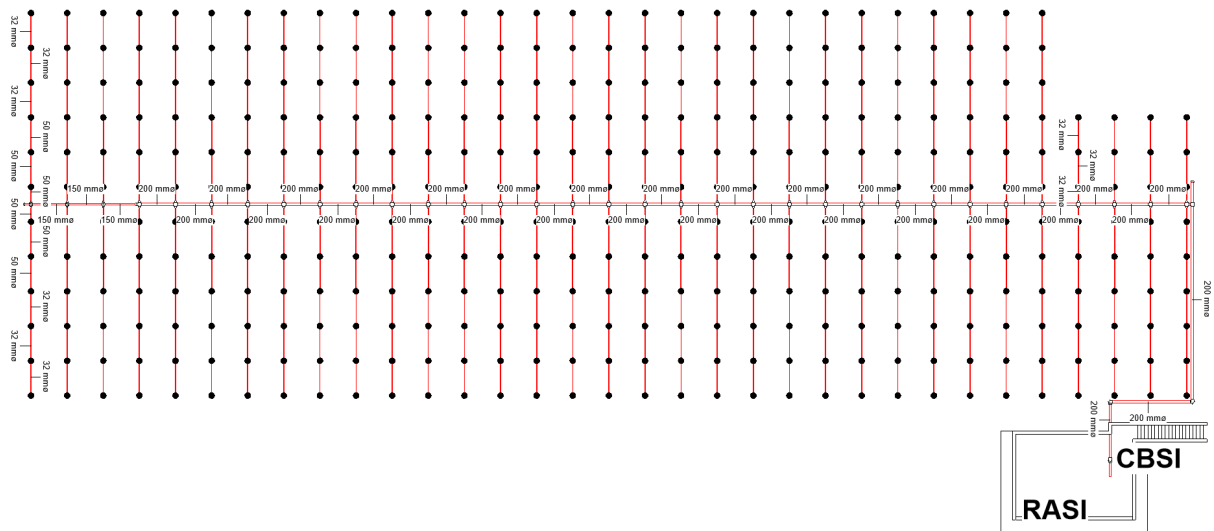


Fig. 107 - Diâmetros atribuídos: cenário 3. Fig. do Autor.

O Quadro 28 apresenta o consumo de tubos da rede por diâmetro, enquanto o Quadro 29 expõe a necessidade de caudal e de pressão da rede. No cenário 4, o valor do diâmetro interior médio é 61,6 mm.

Quadro 28 - Consumo de tubos: cenário 3. Quadro do Autor.

DN 32	DN 50	DN 150	DN 200
525,74 m	422,50 m	8,49 m	112,18 m

Quadro 29 - Necessidades de caudal e de pressão: cenário 3. Quadro do Autor.

Necessidade de caudal ($Q_{\max}$)	Necessidade de pressão ($P_{\max}$)
3406,1 l/min	293,1 KPa

Recordando o que foi referido no cenário 1, para o cálculo do volume do reservatório é utilizado o caudal de alimentação das redes de *sprinklers* (QSS), segundo as NT 14 e 15 [55, 56], que é obtido através da multiplicação da densidade de descarga pela área de operação. Neste caso, o caudal de alimentação assume o valor de 2600 l/min, o que resulta num volume de 234 m³, ao multiplicá-lo pelo tempo de autonomia. Conclui-se, portanto, que o cálculo do volume do reservatório não tem em conta as características específicas de cada rede, nomeadamente as necessidades de caudal.

É importante destacar que o caudal utilizado para o cálculo do reservatório corresponde a 76% da necessidade real de caudal na zona mais desfavorável. Isso significa que, na situação de projeto (zona mais desfavorável com 29 *sprinklers* em funcionamento simultâneo), a rede tem uma autonomia de 69 minutos. Portanto, essa autonomia é 21 minutos inferior ao requerido pelo RT-SCIE [19]. Menos gravoso em relação ao cenário 1.

6.5.3. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NORMA EUROPEIA: CENÁRIO 4

Para o cenário 4, a folha de cálculo utilizada para a realizar o dimensionamento é apresentada na Figura A7 (Anexo A).

Na Figura 108, é demonstrada a atribuição de diâmetros à tubagem. Nesta configuração, como foi referido no cenário anterior, existem dois tipos de ramais: o primeiro tipo abastece 6 *sprinklers*, enquanto o segundo tipo abastece 3 *sprinklers*. Na imagem, apenas são indicados os diâmetros dos troços de tubagem de dois ramais do primeiro tipo e de um ramal do segundo tipo. Os restantes ramais assumem os diâmetros dimensionados correspondentes aos seus tipos. A Figura 108 está presente, também, no Anexo B (Figura B4), onde os diâmetros de cada troço de tubagem se encontram mais claros e visíveis.

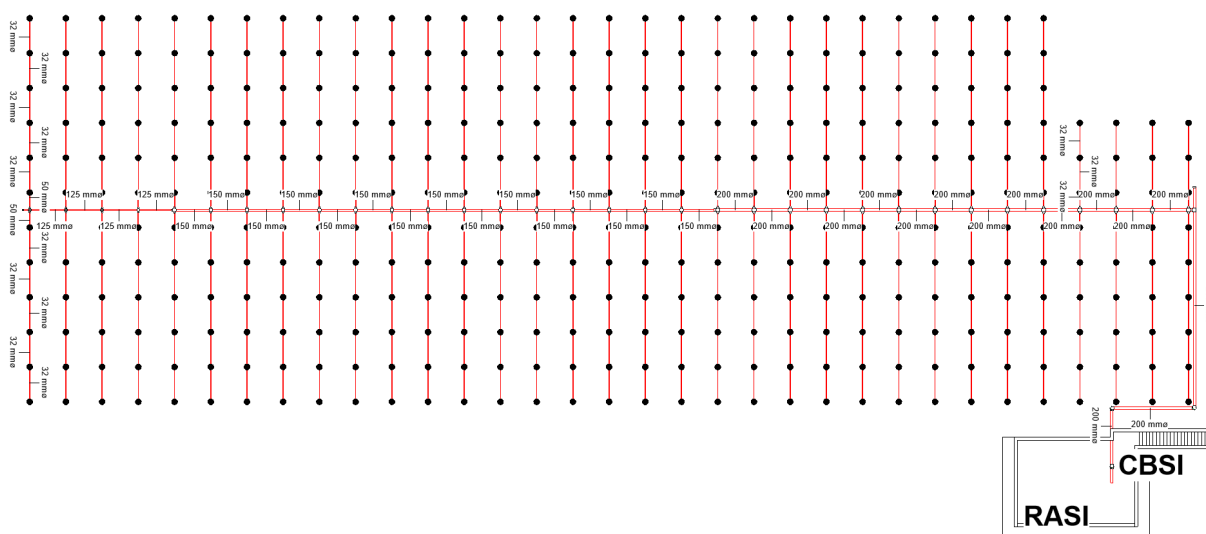


Fig. 108 - Diâmetros atribuídos: cenário 4. Fig. do Autor.

O Quadro 30 apresenta o consumo de tubos da rede por diâmetro, enquanto o Quadro 31 expõe a necessidade de caudal e de pressão da rede. No cenário 4, o diâmetro interior médio é 53,78 mm.

Quadro 30 - Consumo de tubos: cenário 4. Quadro do Autor.

DN 32	DN 50	DN 125	DN 150	DN 200
861,78 m	86,46 m	11,32 m	42,41 m	66,94 m

Quadro 31 - Necessidades de caudal e de pressão: cenário 4. Quadro do Autor.

Necessidade de caudal ($Q_{\max}$)	Necessidade de pressão ($P_{\max}$)
2099,5 l/min	308,0 KPa

No caso da NP EN 12845 [38], o cálculo do volume útil do reservatório leva em consideração a situação crítica em caudal. Neste caso, sem a curva da bomba providenciada pelo fabricante, estima-se o caudal máximo ao intercalar uma curva prevista para a fonte de pressão com a curva da instalação na situação mais favorável (crítica em caudal). O volume útil do reservatório é, então, aproximadamente 200 m³.

6.6. COMPARAÇÃO DOS 4 CENÁRIOS / ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na fase inicial da definição das características de projeto (ver Quadro 23, em 6.3), verificou-se que as prescrições do RT-SCIE [19] e da NP EN 12845 [38] são idênticas, no caso em questão, para as seguintes características: área de operação, tempo de autonomia das redes de *sprinklers*, número de *sprinklers* em funcionamento simultâneo e área de cobertura máxima por *sprinkler*. No entanto, diferem no fator “K” dos *sprinklers* e na densidade de descarga, o que resulta em diferenças no caudal mínimo necessário por *sprinkler* e na pressão no *sprinkler* mais a jusante da rede. Posto isso, é momento para avaliar e refletir sobre o Quadro 32, que contém alguns resultados do dimensionamento para cada cenário.

Quadro 32 - Comparação dos resultados do dimensionamento dos 4 cenários. Quadro do Autor.

Cenário	Config.	Referencial normativo	Necessidade de caudal ($Q_{\max}$)	Necessidade de pressão ($P_{\max}$)	Diâmetro interior médio	Volume útil do reservatório
1	Pente	RT-SCIE	3931,7	365,8	72,06	234
2	Pente	NP EN 12845	2344,7	426,8	60,55	225
3	Árvore	RT-SCIE	3406,1	293,1	61,60	234
4	Árvore	NP EN 12845	2099,5	308,0	53,78	200
Unidades	-	-	l/min	KPa	mm	m ³

Nos cenários em que o dimensionamento é feito segundo o RT-SCIE [19] (cenários 1 e 3), a necessidade de caudal é significativamente maior em comparação com os outros dois cenários, nos quais o dimensionamento é realizado de acordo com a NP EN 12845 [38], como se pode observar na Figura 109. Isso ocorre, porque a densidade de descarga e o fator “K” dos *sprinklers* são superiores nessas configurações.

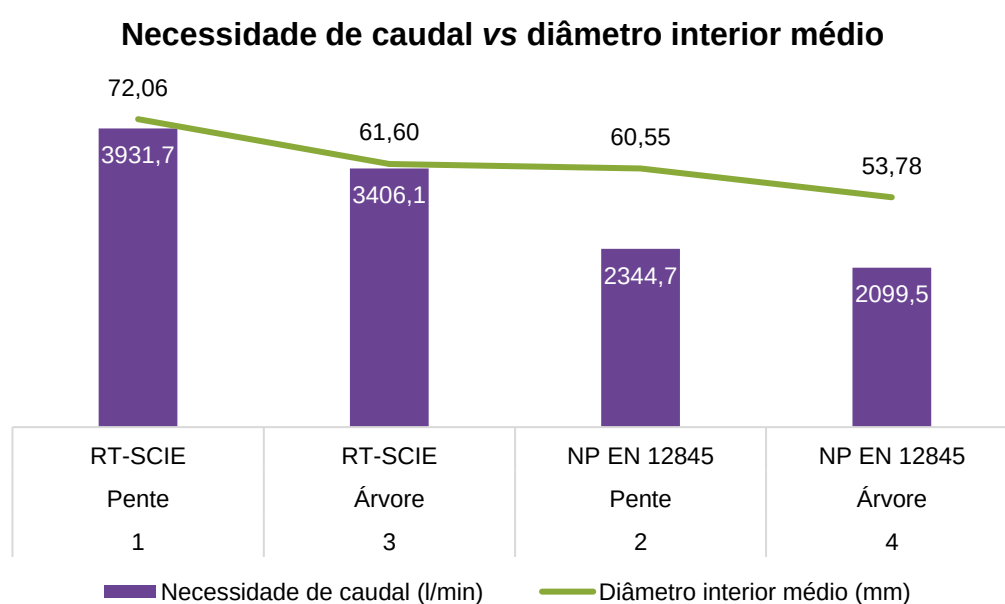


Fig. 109 - Relação entre a necessidade de caudal e o diâmetro interior médio. Fig. do Autor.

Ao realizar mudanças na configuração e ao adotar um referencial normativo diferente, ocorrem mudanças significativas na rede. Uma das principais alterações é a mudança dos diâmetros da tubagem. Com a mudança da configuração de pente para árvore, o número de ramais aumenta, porém, esses ramais são mais curtos e alimentam menos *sprinklers*, resultando num caudal menor que neles circula. Além disso, a adoção da norma europeia, em vez do regulamento português, implica uma redução na densidade de descarga. Esses dois fatores contribuem para a diminuição do diâmetro interior médio da instalação.

Nos cenários em que a configuração é em pente (cenários 1 e 2), a necessidade de pressão é maior em relação aos cenários em que a configuração é em árvore (Figura 110). Isso ocorre devido ao facto de o caminho crítico, que vai desde a CBSI até o *sprinkler* mais distante, ser mais longo, resultando em maiores perdas de carga ao longo desse percurso. Consequentemente, é necessária uma pressão mais elevada para compensar essas perdas e garantir que o caudal adequado é mantido. Além disso, diâmetros menores da tubagem fazem com que haja um aumento da resistência ao fluxo, o que também contribui para maiores perdas de carga e, por sua vez, para uma necessidade de pressão mais alta.

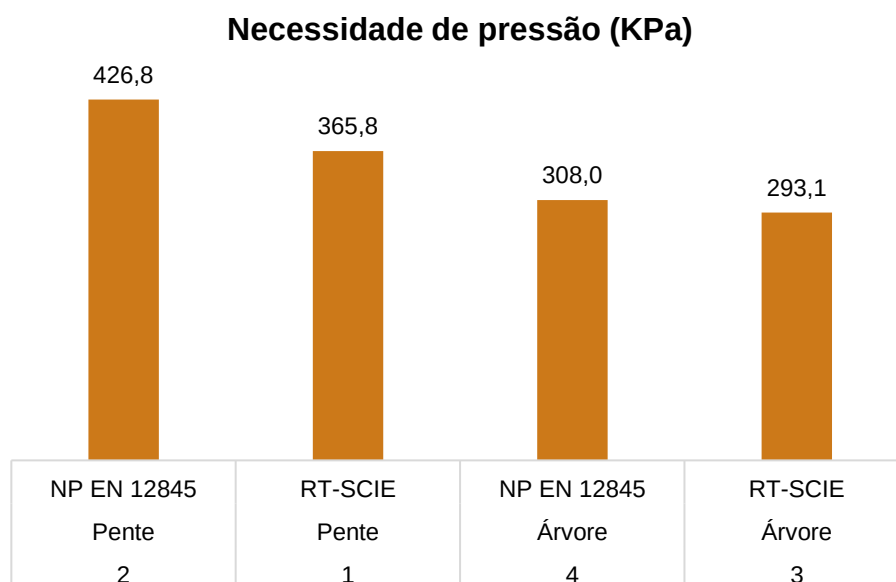


Fig. 110 - Necessidade de pressão. Fig. do Autor.

Concluindo, ao analisar a necessidade de caudal, observa-se que o referencial normativo teve um impacto significativo. A adoção da norma europeia em vez do regulamento português resultou numa redução na necessidade de caudal. Por outro lado, ao analisar a necessidade de pressão, é possível constatar que a configuração da rede teve um impacto maior. A configuração em pente exigiu uma pressão mais elevada devido ao caminho crítico mais longo e às maiores perdas de carga ao longo do percurso. Quanto aos diâmetros médios, tanto o referencial normativo quanto a configuração tiveram influência na sua determinação.

É, então, válido criticar o RT-SCIE [19] pela ausência de regras de espaçamento e localização de *sprinklers* e pela forma universal como prescreve os critérios de dimensionamento para cada UT, independentemente do tipo de risco e dos produtos armazenados. A classificação da categoria de risco no RT-SCIE [19] é utilizada apenas para determinar a necessidade de instalação de SAEI numa determinada UT, e não tem influência nos critérios de dimensionamento.

No caso específico da UT XII, onde estão incluídas oficinas, fábricas e armazéns, é problemático que o RT-SCIE [19] não diferencie os critérios de dimensionamento com base na natureza dos produtos armazenados. Isso significa que um edifício que armazena produtos alimentares de baixa combustibilidade é dimensionado da mesma forma que um edifício que armazena produtos altamente combustíveis ou até explosivos, como fogo de artifício.

Por outro lado, a norma NP EN 12845 [38] preconiza critérios de dimensionamento que levam em conta a ocupação, carga de incêndio e a combustibilidade dos materiais armazenados, incluindo embalagem e configuração de armazenamento. Essa abordagem mais abrangente permite uma avaliação mais precisa dos riscos e resulta em critérios de dimensionamento mais adequados para cada situação.

É válido criticar a abordagem da regulamentação portuguesa, especialmente as Notas Técnicas 14 e 15 [55, 56], em relação ao dimensionamento dos reservatórios. Essas notas técnicas levam a uma contradição com os critérios de dimensionamento do RT-SCIE [19], resultando em reservatórios que não atendem ao tempo de autonomia exigido. Devido a essa inconsistência, não foi possível comparar os volumes úteis dos reservatórios nos quatro cenários estudados.

É imprescindível que haja uma atenção especial à falta de coerência entre os documentos técnicos, pois essa inconsistência pode ter um impacto significativo na eficácia do sistema de combate a incêndios. A questão dos reservatórios é especialmente crítica, uma vez que a sua capacidade de fornecer água suficiente durante o tempo necessário para a supressão de incêndios é essencial.

7

CONCLUSÕES

7.1. REFLEXÕES FINAIS

A presente dissertação resultou no desenvolvimento de uma metodologia inovadora de concepção de redes de *sprinklers*, utilizando o *software Revit* e técnicas de programação em *Dynamo*, com o objetivo de integrar o BIM e a Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE), respeitando o referencial normativo selecionado para o projeto, seja o regulamento português ou a norma europeia. Resultou, também, na definição de uma proposta de medidas orientadoras para aplicação destes sistemas a qualquer edifício, incluindo no processo a utilização do modelo desenvolvido.

Com o intuito de otimizar o processo, foram investigadas e utilizadas ferramentas adicionais, como *Python*, *DiRootsOne* e *Revit API*, permitindo automatizar e aprimorar tarefas relacionadas.

Ao longo deste estudo, foi possível compreender os fundamentos dos Sistemas Automáticos de Extinção de Incêndios (SAEI), bem como os diferentes tipos, componentes e funcionamento desses sistemas. Além disso, foi realizada uma revisão da regulamentação portuguesa relacionada com a aplicação de *sprinklers*, identificando os requisitos e diretrizes para a instalação e dimensionamento desses sistemas.

Além da regulamentação portuguesa, a norma europeia foi estudada em detalhe, identificando as suas prescrições para o projeto de redes de *sprinklers*. Essa análise permitiu estabelecer um termo de comparação que possibilitou a crítica e a exposição das vulnerabilidades da regulamentação portuguesa no que diz respeito ao dimensionamento de SAEI, nomeadamente: regras de espaçamento e localização dos *sprinklers*, critérios de dimensionamento (projeto hidráulico) e dimensionamento de reservatórios.

A versatilidade do modelo para aplicação a qualquer edifício permitiu a realização de um estudo de caso real de forma eficiente, por meio da implementação do modelo de otimização e seguimento das medidas orientadoras. A agilidade no processo de dimensionamento permitiu estudar diferentes cenários, em que foram alteradas as configurações da rede e se adotaram referenciais normativos diferentes. Esse estudo realizado permitiu a análise e comparação dos resultados, evidenciando o impacto da mudança das configurações e dos referenciais normativos utilizados.

No final deste estudo, constatou-se que a metodologia desenvolvida proporciona uma abordagem eficiente para o projeto de redes de *sprinklers*.

Espera-se que os resultados obtidos e a metodologia desenvolvida possam contribuir para o avanço do conhecimento na área dos SAEI, promovendo a aplicação do BIM e o aprimoramento da SCIE. O uso de ferramentas tecnológicas como o *Revit* e o *Dynamo*, pode auxiliar os profissionais da área a adotarem uma abordagem mais eficiente e precisa no dimensionamento e projeto desses sistemas.

Considerando a complexidade do tema, os desafios enfrentados ao longo do processo e os objetivos estabelecidos, pode-se afirmar que o que foi proposto foi de facto realizado e alcançado com sucesso.

Uma observação final de muita importância é a necessidade de discernir adequadamente o momento ideal para fazer uso do *Dynamo*, compreendendo o limiar da eficiência. Esse limiar representa o ponto em que o esforço empregado na otimização ou automação de uma tarefa já não se justifica em relação à execução manual. Ao ultrapassar esse limiar, atinge-se um oxímoro, visto que o próprio esforço para criar a otimização se torna ineficiente.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Além dos avanços alcançados neste estudo sobre a otimização de redes de *sprinklers* por meio da programação *Dynamo* para *Revit*, existem várias áreas promissoras que podem ser exploradas como desenvolvimentos futuros. Essas áreas visam aprimorar ainda mais a eficiência, a precisão e a funcionalidade prática desses sistemas, fornecendo *insights* valiosos para pesquisas futuras.

Um desses desenvolvimentos futuros é a aplicação de técnicas de *clash detection* na colocação dos elementos da rede de *sprinklers*. A incorporação de recursos de *clash detection* permitiria que os projetistas identificassem e evitassem colisões com elementos estruturais, instalações, entre outras obstruções em edifícios. Isso garantiria maior facilidade na projeção de SAEI e melhoraria a coordenação geral do projeto.

Para facilitar a modelação e o cálculo das redes de *sprinklers*, uma sugestão promissora é a criação de uma extensão dedicada no *Revit*. Essa extensão proporcionaria uma funcionalidade específica para a modelação e cálculo das redes de *sprinklers*, oferecendo aos projetistas uma ferramenta integrada e centralizada para todo o processo. Isso reduziria a dependência do *Dynamo* e simplificaria o fluxo de trabalho, aumentando a eficiência e a produtividade.

O *Speckle*, uma plataforma com diversas potencialidades, pode ser explorado como uma ferramenta para melhorar a colaboração e o compartilhamento de dados entre diferentes disciplinas envolvidas no projeto de sistemas de *sprinklers*. Essa integração permitiria uma troca mais eficiente de informações, facilitando a comunicação entre os profissionais envolvidos.

Outro desenvolvimento futuro interessante é a realização do cálculo hidráulico das redes de *sprinklers* diretamente no *Revit*. Eliminar a necessidade de exportação e importação de dados para o *Excel* simplificaria o processo e tornaria o dimensionamento hidráulico mais eficiente. Isso também abriria possibilidades de explorar o *Generative Design* para gerar soluções otimizadas, considerando critérios como, comprimento e diâmetros da tubagem e custo. Essa abordagem proporcionaria soluções mais económicas para as redes de *sprinklers*.

Por fim, considerar a evolução para normas globais, mundialmente reconhecidas, como a NFPA 13, FM GLOBAL e VdS CEA 4001, ampliaria a abrangência do estudo comparativo entre referenciais normativos. Essa expansão se aplicada ao modelo desenvolvido nesta dissertação, tornaria o modelo mais completo, versátil e melhor adaptado às exigências tanto do dono de obra quanto das seguradoras.

Essas são apenas algumas das possíveis direções para pesquisas futuras neste campo. Explorar essas áreas contribuiria para o avanço contínuo da otimização dos SAEI, fornecendo soluções mais eficientes e económicas para a proteção contra incêndios em edifícios. Essas iniciativas certamente beneficiariam os profissionais da área e contribuiriam para a segurança das pessoas e do património.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 1: Termos gerais. Fenómenos do fogo*, NP 3874-1: 1994, I. P. d. Qualidade, Caparica, 1994.
- [2] J. A. C. e. R. E. L. António Matos Guerra, "Fenomenologia da combustão e extintores," Escola Nacional de Bombeiros, Sintra, 2006.
- [3] *Classes de fogos*, NP EN 2:1992, I. P. d. Qualidade, Caparica, 1992.
- [4] *Classes de fogos*, NP EN 2:1993/A1 2005, I. P. d. Qualidade, Caparica, 2005.
- [5] A. P. d. Segurança, "Ficha Técnica n.º 3 - Extintor de Incêndio Portátil," APSEI, Setembro 2019.
- [6] M. C. Gonçalves. Cap 2 – Incêndio em compartimento – Curvas de incêndio [Sebenta].
- [7] *Segurança contra incêndio. Vocabulário.*, NP EN ISO 12943, I. P. d. Qualidade, Caparica, 2008.
- [8] A. G. Gomes, *Sistemas de prevenção contra incêndios: sistemas hidráulicos, sistemas sob comando, rede de hidratantes e sistema automático*. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. [Online]. Disponível: <https://go.exlibris.link/fGbbZfKm>
- [9] A. L. Coelho, *Incêndios em edifícios*. Amadora: Orion, 2010. [Online]. Disponível: <https://go.exlibris.link/VQCDl9n8>
- [10] N. Z. F. Service. (28 February 2009). Qualified Firefighter Programme – Fire Science and Ventilation [Study Guide].
- [11] W. D. Walton, P. H. Thomas, e Y. Ohmiya, "Estimating temperatures in compartment fires," *SFPE handbook of fire protection engineering*, pp. 996-1023, 2016.
- [12] J. G. Quintiere, *Principles of fire behavior*. CRC Press, 2016.
- [13] M. C. Gonçalves. Cap 9 – Meios de extinção [Powerpoint slides].
- [14] G. Biondo, *Progettazione antincendio: criteri generali, procedure, tecniche, manufatti, normative: aggiornamento normativo*. BE-MA, 1992.
- [15] *Segurança contra incêndios - Agentes extintores - Seleção segundo a classe de fogos*, NP 1800:2012, I. P. d. Qualidade, Caparica, 2012.
- [16] A. d. República. (2019-10-18). *Lei n.º 123/2019 em Diário da República n.º 201/2019, Série I de 2019-10-18, páginas 3 - 53*. [Online]. Disponível: <https://dre.pt/dre/detalhe/lei/123-2019-125468543>
- [17] *Engenharia de segurança contra incêndio. Principios gerais.*, NP ISO 23932, I. P. d. Qualidade, Caparica, 2018.
- [18] APTA, "Manual do Projectista #2," ed, 2022.
- [19] A. Interna. (2020-06-02). *Portaria n.º 135/2020 em Diário da República n.º 107/2020, Série I de 2020-06-02, páginas 2 - 214*. [Online]. Disponível: <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/135-2020-134991810>
- [20] *Símbolos Gráficos. Cores de segurança e sinais de segurança. Sinais de segurança registados.*, NP EN ISO 7010:2013, I. P. d. Qualidade, Caparica
- [21] Sinalux. "Sinalux - Incêndio." <https://www.sinalux.eu/pt/catalogo/sinalux/incendio/> (acedido em Fev. 17, 2023).
- [22] A. N. d. E. e. P. Civil, "Nota Técnica N.º 16 - Sistemas Automáticos de Extinção de Incêndios por Água," ANEPC, 2020-9-18.

- [23] *Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 4: Equipamentos e meios de extinção de incêndios.*, NP 3874-4: 1994, I. P. d. Qualidade, Caparica, 1995.
- [24] VikingGroup. "Viking Fire Sprinklers." <https://www.vikinggroupinc.com/products/viking-fire-sprinklers> (acedido em Mar. 7, 2023).
- [25] *Fixed firefighting systems — Components for sprinkler and water spray systems — Part 1: Sprinklers* EN 12259-1: 1999, E. C. f. Standardization
- [26] Indis. "Did you know the colour of the Glass Bead says a lot about the sprinkler system?" <https://indis.co.in/did-you-know-the-colour-of-the-glass-bead-says-a-lot-about-the-sprinkler-system> (acedido em Mar. 10, 2023).
- [27] S. Martorano, "Automatic Sprinkler Thermal Sensitivity: Clarifying the Terms Fast Response and Quick Response," Viking Group, 2006.
- [28] B. O'Connor. "Types of Sprinklers - NFPA." <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/Blogs-Landing-Page/NFPA-Today/Blog-Posts/2022/02/18/Types-of-Sprinklers> (acedido em Fev. 23, 2023).
- [29] SecuTech. "Products: Concealed Sprinkler." <http://secutechuk.com/product/concealed-sprinkler/> (acedido em Mar. 7, 2023).
- [30] Reliable. "JL112 and J112 Upright, Pendent & Recessed Sprinklers." <https://reliablesprinkler.com/product/jl112-and-j112-upright-pendent-recessed/> (acedido em Mar. 7, 2023).
- [31] GrupaWolf. "Sprinkler systems for industry." <https://www.grupa-wolff.com/fire-protection-solutions/deluge-systems/> (acedido em Abr. 20, 2023).
- [32] Vitaulic. "Victaulic® FireLock™ Series FL-SR/ST/INT: Storage, Standard Response." <https://s3.amazonaws.com/victaulic-assets/assets/uploads/literature/44.71.pdf>
- [33] "tyco TY4235 Pendent Quick Response Dry-Type Sprinkler Instruction Manual." <https://device.report/manual/4370180> (acedido em Abr. 20, 2023).
- [34] *Standard for the Installation of Sprinkler Systems 2022 Edition* NFPA 13, N. F. P. Association, 2022. [Online]. Disponível: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=13>
- [35] G. Malik. "What if Your Sprinkler System Could Think?" <https://www.sprinklerage.com/sprinkler-system-think/> (acedido em Mar. 3, 2023).
- [36] M. P. Heating. "Residential Sprinkler Systems." <https://mainelyplumbing.com/residential-sprinkler-systems/> (acedido em Mar. 3, 2023).
- [37] *Sistemas fixos de combate a incêndios - Componentes para sistemas sprinkler e de pulverização de água - Parte 1: Sprinklers*, EN 12259-1:1999+A1:2001/A3:2006, I. P. d. Qualidade, Caparica, 2006.
- [38] *Sistemas fixos de combate a incêndio: sistemas automáticos de extinção por sprinklers : conceção, instalação e manutenção* NP EN 12845: 2019, I. P. d. Qualidade, Caparica, 2019. [Online]. Disponível: <https://go.exlibris.link/yjHNsSsM>
- [39] A. P. d. Segurança, "Ficha técnica n.º 27 - Sistemas fixos de extinção automática de incêndio por sprinklers " APSEI, Setembro 2019.
- [40] A. P. d. Segurança, "Ficha Técnica n.º 53 - Sistemas de cortina de água," APSEI, Dezembro 2016.

- [41] P. J. Arsenault. "Window Sprinklers as an Alternative to Fire-Rated Glass." <https://continuingeducation.bnpmedia.com/courses/tyco/window-sprinklers-as-an-alternative-to-fire-rated-glass/3/> (acedido em Mar. 3, 2023).
- [42] U. Fog. "Water Mist." <https://www.ultrafog.com/technology/water-mist> (acedido em Mar. 3, 2023).
- [43] M. Ahrens, "U.S. Experience with Sprinklers," NFPA, Outubro 2021.
- [44] Grundfos. "Fire sprinkler system." <https://www.grundfos.com/solutions/learn/research-and-insights/fire-sprinkler-system> (acedido em Abr. 15, 2023).
- [45] NFPA. "Sprinkler System Basics: Types of Sprinkler Systems." <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/Blogs-Landing-Page/NFPA-Today/Blog-Posts/2021/03/26/Sprinkler-System-Basics-Types-of-Sprinkler-Systems?icid=W483> (acedido em Abr. 15, 2023).
- [46] iStock. "Close-up de um aspersor de fogo vermelho." <https://www.istockphoto.com/pt/foto/close-up-de-um-aspersor-de-fogo-vermelho-gm504240690-83020763?phrase=fire%20sprinkler%20ceiling> (acedido em Abr. 15, 2023).
- [47] FireProteccionSprinkler. "GK Sprinkler Polska Sp. z o.o." <https://www.fire-protection-solutions.com/company/companies/gk-sprinkler-polska/?lang=en> (acedido em Abr. 15, 2023).
- [48] CFC. "NFPA 25 updates for 2020." <https://www.cfcsystems.com/nfpa-25-updates-for-2020/> (acedido em Abr. 15, 2023).
- [49] *Tubos de aço não ligado com aptidão para soldadura e roscagem: Condições técnicas de fornecimento*, NP EN 10255:2004+A1 2008, I. P. d. Qualidade, Caparica
- [50] *Tubos soldados de aço para aplicações sob pressão: Condições técnicas de fornecimento. Parte 1: Tubos de aço não ligado obtidos por soldadura elétrica e por arco submerso, com características especificadas à temperatura ambiente.*, NP EN 10217-1: 2020, I. P. d. Qualidade, Caparica
- [51] *Revestimentos para protecção interior e/ou exterior de tubos de aço - Especificações para os revestimentos de galvanização por imersão a quente em instalações automatizadas*, NP EN 10240:1998, I. P. d. Qualidade, Caparica, 1998.
- [52] *Acessórios de ferro fundido maleável roscados*, NP EN 10242:1996/A2:2005, I. P. d. Qualidade, Caparica, 2005.
- [53] *Flanges e suas junções: Flanges circulares para tubagens, válvulas, acessórios e componentes, designação PN. Parte 1: Flanges em aço.*, NP EN 1092-1: 2020, I. P. d. Qualidade, Caparica
- [54] *Identificação de fluidos: Cores e sinais para canalizações*, NP 182:1966, I. P. d. Qualidade, Caparica, 1966.
- [55] A. N. d. E. e. P. Civil, "Nota Técnica N.º 14 — Fontes Abastecedoras de Água para o Serviço de Incêndio," ANEPC, 2020-9-17.
- [56] A. N. d. E. e. P. Civil, "Nota Técnica N.º 15 — Centrais de Bombagem para o Serviço de Incêndio," ANEPC, 2020-9-17.
- [57] *Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection*, NFPA 20, N. F. P. Association, 2022. [Online]. Disponível: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=20>
- [58] Autodesk. *What is BIM?* Acedido em: Fev 27, 2023. [Online Video]. Disponível: <https://www.autodesk.com/industry/aec/bim>

- [59] Autodesk, *The tipping point has arrived*. 2022. [Online]. Disponível: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/industry/aec/bim/aec-bim-study-smart-market-synopsis-ebook-en.pdf>
- [60] MicrosolResources. "What Is Revit Used For?" <https://microsolresources.com/tech-resources/article/what-is-revit-used-for/> (acedido em Jun. 15, 2023).
- [61] landarchBIM. "Revit/Dynamo Hierarchy of Elements." <https://landarchbim.com/2016/03/09/revitdynamo-hierarchy-of-elements/> (acedido em Mar. 2, 2023).
- [62] Autodesk. "Project Templates." <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Customize/files/GUID-4C16B54A-7ADA-4DEB-A278-C199B1BC4207-htm.html> (acedido em Mar. 2, 2023).
- [63] F. Roberti e D. Ferreira, *Increasing Autodesk Revit Productivity for BIM Projects: A practical guide to using Revit workflows to improve productivity and efficiency in BIM projects*. Packt Publishing Ltd, 2021.
- [64] E. Pellegrino, M. A. Bottiglieri, G. Crump, L. C. Pieper, e D. Touil, *Managing and Visualizing Your BIM Data*. Packt Publishing, 2021. [Online]. Disponível: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMVYBIMD1/managing-visualizing/managing-visualizing>
- [65] J. Graham, Linkedin Learning. *What is OOP?* (Dez. 14, 2018). Acedido em: Mar. 10, 2023. [Online Video]. Disponível: <https://www.linkedin.com/learning/dynamo-for-revit-python-scripting-2/what-is-oop?>
- [66] A. P. f. T. Materials. "4.3. OOP." https://gramaziokohler.arch.ethz.ch/teaching-materials/04_python/3_oop/
- [67] Autodesk. "Dynamo Player." https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=RevitDynamo_Dynamo_Player_html (acedido em Abr. 23, 2023).
- [68] J. Graham, Linkedin Learning. *1.Intro to Generative Design*. (Fev. 30, 2020). Acedido em: Mar. 1, 2023. [Online Video]. Disponível: <https://www.linkedin.com/learning/revit-generative-design/what-is-generative-design?>
- [69] G. Talarico. "Revit API Docs." <https://www.revitapidocs.com/2023/> (acedido em Abr. 23, 2023).
- [70] DiRoots. "Eight Productivity Tools for Autodesk Revit." <https://diroots.com/revit-plugins/dirootsone/> (acedido em Abr. 24, 2023).
- [71] Speckle. "Our mission is to enable everyone to speak in 3D." <https://speckle.systems/about/> (acedido em Abr. 25, 2023).

ANEXOS

ANEXO A – FOLHAS DE CÁLCULO APTA

Fig. A1 - Folha de cálculo APTA: exemplo. Fig. do Autor.....	122
Fig. A2 - Compartimento exemplo: config. em pente. Fig. do Autor.	123
Fig. A3 - Compartimento exemplo: config. em árvore. Fig. do Autor.	124
Fig. A4 - Estudo de caso: config. em pente, RT-SCIE (Cenário 1). Fig. do Autor.....	125
Fig. A5 - Estudo de caso: config. em pente, NP EN 12845 (Cenário 2). Fig. do Autor.	126
Fig. A6 - Estudo de caso: config. em árvore, RT-SCIE (Cenário 3). Fig. do Autor.....	127
Fig. A7 - Estudo de caso: config. em árvore, NP EN 12845 (Cenário 4). Fig. do Autor.	128

Fig. A1 - Folha de cálculo APTA: exemplo. Fig. do Autor.

[illegible]

Fig. A2 - Compartimento exemplo: config. em pente. Fig. do Autor.

Dimensionamento de Sistema de Extinção Automática (Rede de Sprinklers Tipo Úmida)

Ref.ª

Descrição: Compartimento exemplo: config. em pente

Data:

Características e Especificações:

Características

Classificação

Grupo de Risco

Utilização

Tipos

Oratório - Grupo 2 (EN 12845)

Dimensionamento em conformidade com EN 12845

Adaptado

Observações

1.1.1

1.1.2

1.1.3

1.1.4

1.1.5

1.2

1.2.1

1.2.2

1.2.3

1.2.4

1.3

1.3.1

1.3.2

1.3.3

1.3.4

1.4

1.4.1

1.4.2

1.4.3

1.4.4

1.4.5

1.4.6

1.4.7

1.4.8

1.4.9

1.4.10

1.4.11

1.4.12

1.4.13

1.4.14

1.4.15

1.4.16

1.4.17

1.4.18

1.4.19

1.4.20

1.4.21

1.4.22

1.4.23

1.4.24

1.4.25

1.4.26

1.4.27

1.4.28

1.4.29

1.4.30

1.4.31

1.4.32

1.4.33

1.4.34

1.4.35

1.4.36

1.4.37

1.4.38

1.4.39

1.4.40

1.4.41

1.4.42

1.4.43

1.4.44

1.4.45

1.4.46

1.4.47

1.4.48

1.4.49

1.4.50

1.4.51

1.4.52

1.4.53

1.4.54

1.4.55

1.4.56

1.4.57

1.4.58

1.4.59

1.4.60

1.4.61

1.4.62

1.4.63

1.4.64

1.4.65

1.4.66

1.4.67

1.4.68

1.4.69

1.4.70

1.4.71

1.4.72

1.4.73

1.4.74

1.4.75

1.4.76

1.4.77

1.4.78

1.4.79

1.4.80

1.4.81

1.4.82

1.4.83

1.4.84

1.4.85

1.4.86

1.4.87

1.4.88

1.4.89

1.4.90

1.4.91

1.4.92

1.4.93

1.4.94

1.4.95

1.4.96

1.4.97

1.4.98

1.4.99

1.5

1.5.1

1.5.2

1.5.3

1.5.4

1.5.5

1.5.6

1.5.7

1.5.8

1.5.9

1.5.10

1.5.11

1.5.12

1.5.13

1.5.14

1.5.15

1.5.16

1.5.17

1.5.18

1.5.19

1.5.20

1.5.21

1.5.22

1.5.23

1.5.24

1.5.25

1.5.26

1.5.27

1.5.28

1.5.29

1.5.30

1.5.31

1.5.32

1.5.33

1.5.34

1.5.35

1.5.36

1.5.37

1.5.38

1.5.39

1.5.40

1.5.41

1.5.42

1.5.43

1.5.44

1.5.45

1.5.46

1.5.47

1.5.48

1.5.49

1.5.50

1.5.51

1.5.52

1.5.53

1.5.54

1.5.55

1.5.56

1.5.57

1.5.58

1.5.59

1.5.60

1.5.61

1.5.62

1.5.63

1.5.64

1.5.65

1.5.66

1.5.67

1.5.68

1.5.69

1.5.70

1.5.71

1.5.72

1.5.73

1.5.74

1.5.75

1.5.76

1.5.77

1.5.78

1.5.79

1.5.80

1.5.81

1.5.82

1.5.83

1.5.84

1.5.85

1.5.86

1.5.87

1.5.88

1.5.89

1.5.90

1.5.91

1.5.92

1.5.93

1.5.94

1.5.95

1.5.96

1.5.97

1.5.98

1.5.99

1.6

1.6.1

1.6.2

1.6.3

1.6.4

1.6.5

1.6.6

1.6.7

1.6.8

1.6.9

1.6.10

1.6.11

1.6.12

1.6.13

1.6.14

1.6.15

1.6.16

1.6.17

1.6.18

1.6.19

1.6.20

1.6.21

1.6.22

1.6.23

1.6.24

1.6.25

1.6.26

1.6.27

1.6.28

1.6.29

1.6.30

1.6.31

1.6.32

1.6.33

1.6.34

1.6.35

1.6.36

1.6.37

1.6.38

1.6.39

1.6.40

1.6.41

1.6.42

1.6.43

1.6.44

1.6.45

1.6.46

1.6.47

1.6.48

1.6.49

1.6.50

1.6.51

1.6.52

1.6.53

1.6.54

1.6.55

1.6.56

1.6.57

1.6.58

1.6.59

1.6.60

1.6.61

1.6.62

1.6.63

1.6.64

1.6.65

1.6.66

1.6.67

1.6.68

1.6.69

1.6.70

1.6.71

1.6.72

1.6.73

1.6.74

1.6.75

1.6.76

1.6.77

1.6.78

1.6.79

1.6.80

1.6.81

1.6.82

1.6.83

1.6.84

1.6.85

1.6.86

1.6.87

1.6.88

1.6.89

1.6.90

1.6.91

1.6.92

1.6.93

1.6.94

1.6.95

1.6.96

1.6.97

1.6.98

1.6.99

1.7

1.7.1

1.7.2

1.7.3

1.7.4

1.7.5

1.7.6

1.7.7

1.7.8

1.7.9

1.7.10

1.7.11

1.7.12

1.7.13

1.7.14

1.7.15

1.7.16

1.7.17

1.7.18

1.7.19

1.7.20

1.7.21

1.7.22

1.7.23

1.7.24

1.7.25

1.7.26

1.7.27

1.7.28

1.7.29

1.7.30

1.7.31

1.7.32

1.7.33

1.7.34

1.7.35

1.7.36

1.7.37

1.7.38

1.7.39

1.7.40

1.7.41

1.7.42

1.7.43

1.7.44

1.7.

Fig. A3 - Compartimento exemplo: config. em árvore. Fig. do Autor.

Dimensionamento de Sistema de Extinção Automática (Rede de Sprinklers Tipo Úmida)

Ref.ª

Descrição: Compartimento exemplo: config. em árvore

Data:

Características e Especificações:

1.1.1

Quatro 3

Classe e Grupo de Risco/Utilização Tipo:

Ocnário - Grupo 2 (EN 12845)

1.5

Quatro 3

Área de operação:

A_o

m²

144

1.5.1

Quatro 3

Área de cobertura por sprinkler:

A_s

m²

12,0

1.6

Quatro 3

Nº total mñ sprinklers em func. simultâneo:

NS_{sim}

m²

12

1.3

Quatro 3

Esparçamento entre sprinklers:

S

m

3,45

1.3.1

Quatro 3

Caudal unitário a dispersar por sprinkler:

Q_{unit.}

l/min.m²

5,00

1.10

Quatro 4

Codiciente de caudal do sprinkler DN 15:

K métrico

l/min.bar.º

80

1.3.3

Quatro 3

Perda de carga dinâmica admissível - EN 12845:

ΔP_{adm. ad.}

kPa

50,0

1.1.2

Quatro 3

Velocidade de escoamento admissível - EN 12845:

V_{adm.}

m/s

6,0

1.1.2

Quatro 3

Porcentagem de aliciação - perdas de carga locais:

Δ_{lo}

%

0%

1.1.3

Quatro 3

Opção de dimensionamento com recurso à fórmula de Flamant (X):

X

120

1.1.4

Quatro 3

Constante de rugosidade aplicável à água fria:

C

120

Selecção unidades de caudal:

l/min

kPa

Selecção unidades de pressão:

Decisões

Adoptab

Observações

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

Fig. A4 - Estudo de caso: config. em pente, RT-SCIE (Cenário 1). Fig. do Autor.

Dimensionamento de Sistema de Extinção Automática (rede de Sprinklers Tipo Húmida)

Ref.ª Centário 1

Descrição: Config. em pente: Dimensionamento segundo o RT-SCIE

Data:

Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações										Decisões		Adoptado		Observações	
Características e Especificações															

Fig. A5 - Estudo de caso: config. em pente, NP EN 12845 (Cenário 2). Fig. do Autor.

Dimensionamento de Sistema de Extinção Automática (Rede de Sprinklers Tipo Úmida)

Ref. a Cenário 2

Descrição: Config. em pente: Dimensionamento segundo a NP EN 12845

Observações

Características e Especificações:

1. Quatro 3

2. Quatro 3

3. Quatro 3

4. Quatro 3

5. Quatro 3

Classe e Grupo de Risco/Utilização

Extra - Grupo 1 (EN 12845)

Área de operação:

Área de cobertura por sprinkler:

Nº total min. sprinklers em func. simultâneo:

Espectamento entre sprinklers:

Caudal unitário a dispersar por sprinkler:

K métrico

Perda de carga dinâmica admissível - EN 12845:

Velocidade de escoamento admissível - EN 12845:

Percentagem de detecção: perdas de carga locais:

Opção de dimensionamento com recurso à fórmula de Fannart (X):

Constante de rugosidade aplicável à água fria:

Selecionar unidades de caudal:

l/min

l/s

Selecionar unidades de pressão:

kPa

bar

Decisões

Adoptado

Observações

Dimensionamento em conformidade com EN 12845

Função da Classe de Risco

Função da Classe de Risco

Característica obtida por cálculo

Sprinklers em disposição normal (máx = 3,7 m)

Densidade de descarga

K = 80

Assumido por defeito nos ramos principais

Gama imposta: 0,5 ≤ V ≤ 6 m/s

Para cálculo do comprimento equivalente

Cálculo efectuado através da fórmula de Hazen & Williams

Valor típico para tubagens em aço preto / galvanizado

Caudais expressos em l/min.

Pressões expressas em kPa.

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

Características: 0,2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. 2. 3

2) Inserir valor (+) para troço ascendente e (-) para troço descendente.

Fig. A6 - Estudo de caso: config. em árvore, RT-SCIE (Cenário 3). Fig. do Autor.

| Dimensionamento de Sistema de Extinção Automática (Rede de Sprinklers Tipo Úmida) | | | | | | | | | | Ref.ª Cenário 3 | | | | | | | | | | Descrição: Config. em árvore: Dimensionamento segundo o RT-SOIE | | | | | | | | | | Especificações calculadas | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e Especificações: | | | | | | | | | | Decisões | | | | | | | | | | Observações | | | | | | | | | | Especificações gerais do sistema de | | | | | | | | | | Tubagem de aspiração | | | | | | | | | | Data: | | | | | | | | | |
| Características e | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO B – DIÂMETROS COLOCADOS NA TUBAGEM: ESTUDO DE CASO

| | |
|---|-----|
| Fig. B1 - Diâmetros atribuídos: cenário 1. Fig. do Autor..... | 130 |
| Fig. B2 - Diâmetros atribuídos: cenário 2. Fig. do Autor..... | 131 |
| Fig. B3 - Diâmetros atribuídos: cenário 3. Fig. do Autor..... | 132 |
| Fig. B4 - Diâmetros atribuídos: cenário 4. Fig. do Autor..... | 133 |

Fig. B1 - Diâmetros atribuídos: cenário 1. Fig. do Autor.

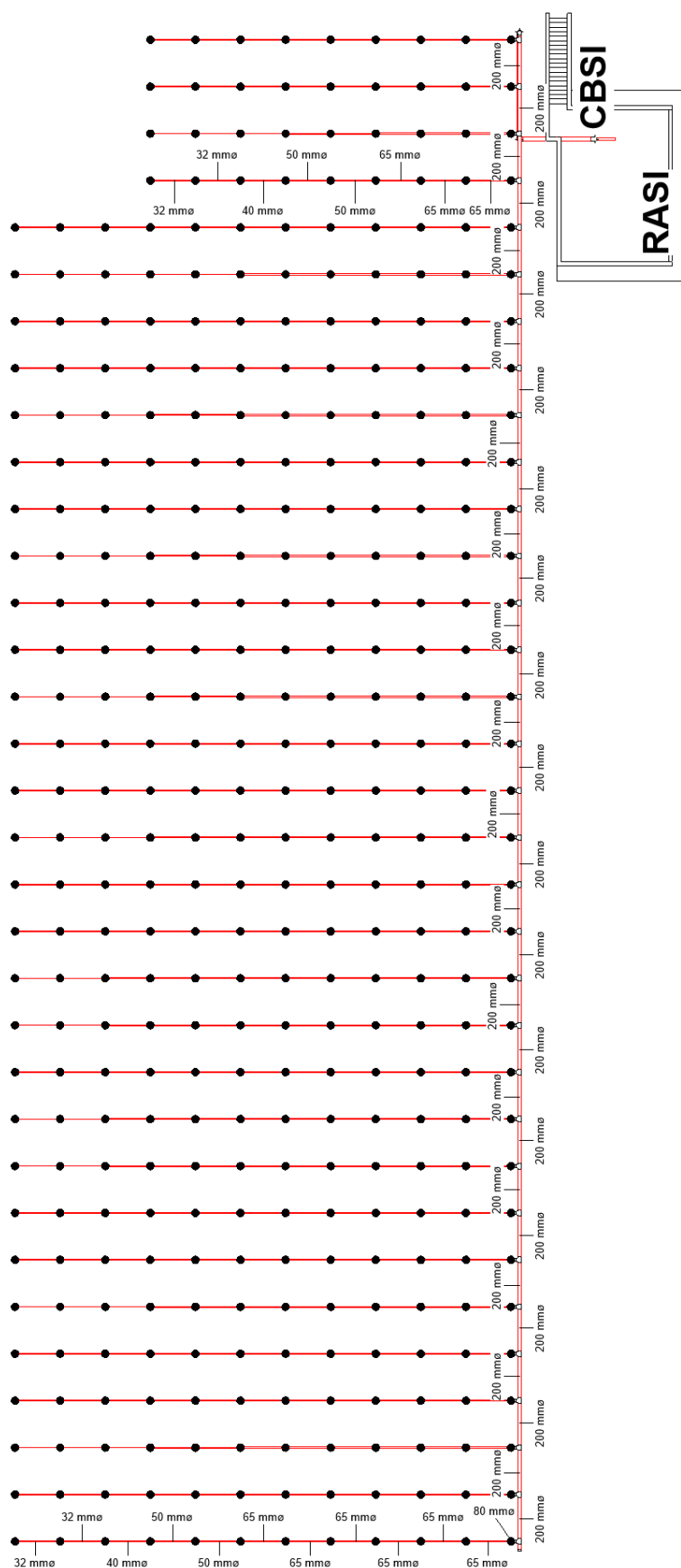


Fig. B2 - Diâmetros atribuídos: cenário 2. Fig. do Autor.

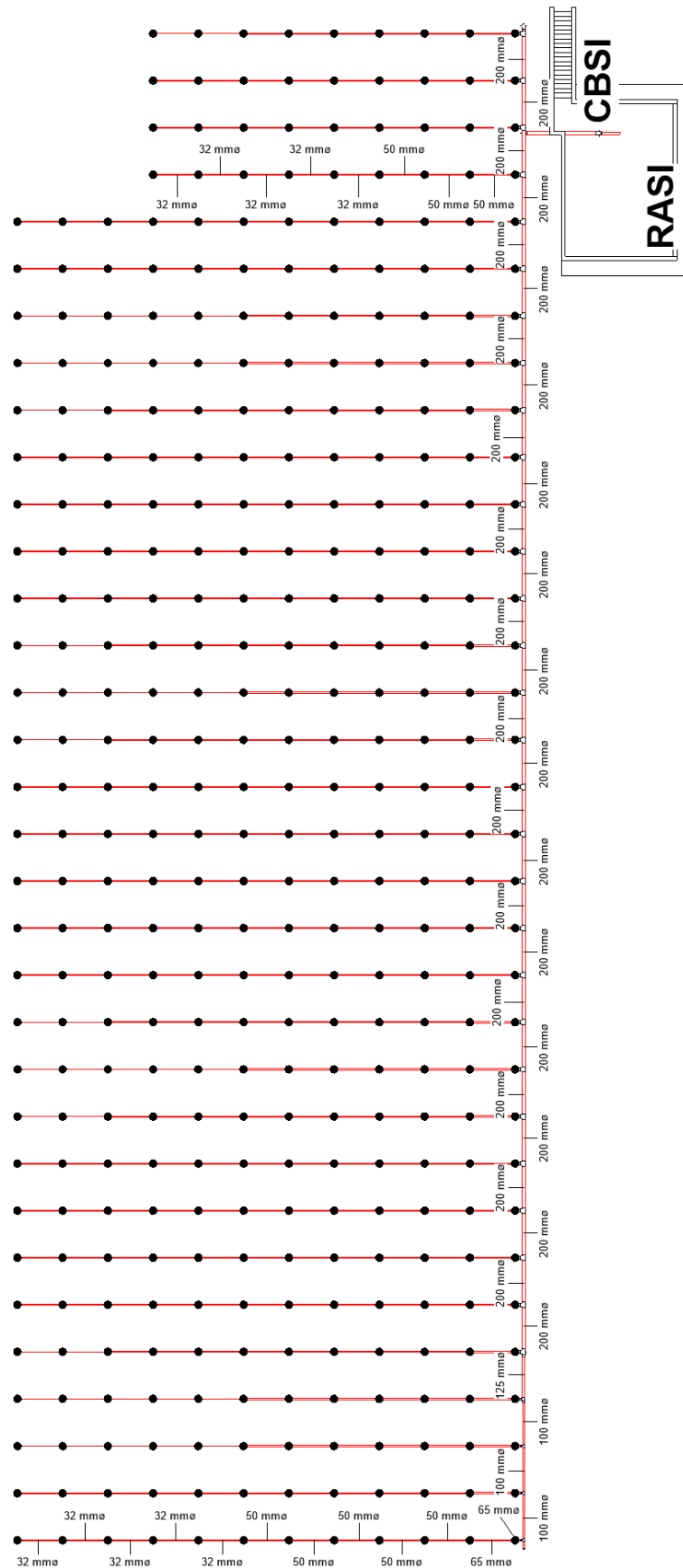


Fig. B3 - Diâmetros atribuídos: cenário 3. Fig. do Autor.

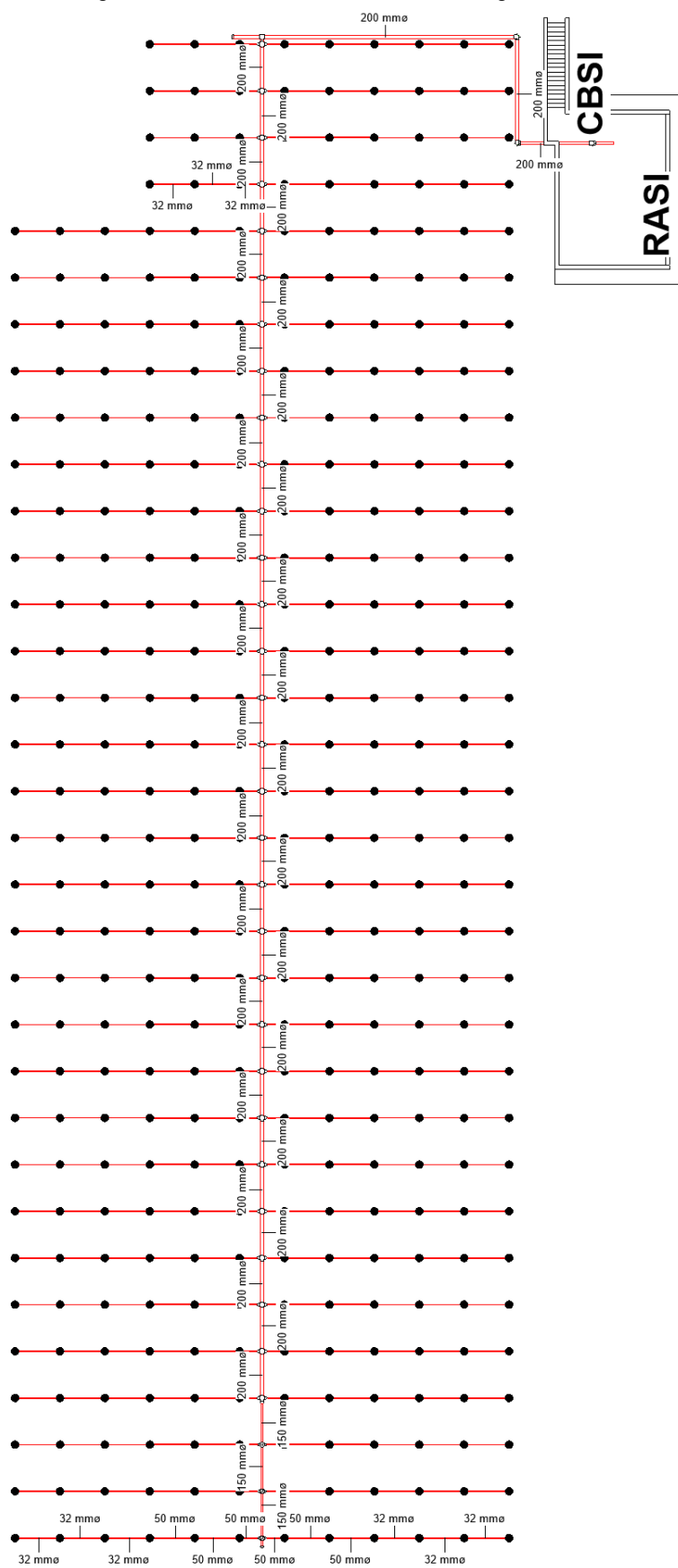


Fig. B4 - Diâmetros atribuídos: cenário 4. Fig. do Autor.

