



# Integração de informação para a verificação da Segurança Contra Incêndios em Modelos BIM

FLÁVIO MANUEL SANTOS AZEVEDO

novembro de 2025

**Integração de informação para a  
verificação da Segurança Contra  
Incêndios em Modelos BIM**

**Flávio Manuel Santos Azevedo**

**Relatório de estágio para obtenção do Grau de  
Mestre em Engenharia Civil Área de Especialização  
em Construções**

**Orientador: Maria do Rosário Santos Oliveira**

**Co-orientador: Rui Pedro Rodrigues Pinheiro Gavina**

**Supervisor: Jéssica Margarida Colaço dos Reis**

**Júri:**

Presidente:

Doutora Maria do Rosário Santos Oliveira, Professora Adjunta, ISEP

Vogais:

Doutor Duarte Barroso Lopes, Professor Adjunto, ISEP

Doutor Diogo Rodrigo Ferreira Ribeiro, Professor Coordenador, ISEP

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

A handwritten signature in black ink, reading "Flávio Azevedo". The signature is written in a cursive style with a large initial 'F'.

ISEP, Porto, 29 de Setembro de 2025

# Resumo

Este relatório resultou do estágio curricular colaborativo entre o Instituto Superior de Engenharia do Porto e a empresa VN2R, tendo como objetivo principal a análise de metodologias para integração de informação em modelos BIM para a verificação da segurança contra incêndios, com foco na compartimentação corta-fogo.

Para atingir o objetivo mencionado, foi necessário, inicialmente, estudar o enquadramento regulamentar português de segurança contra incêndios, nomeadamente o Lei n.º 123/2019 e a Portaria n.º 135/2020. Foram analisados os critérios de classificação de utilizações-tipo, categorias de risco, locais de risco e as áreas máximas de compartimentação corta-fogo, destacando-se as variáveis críticas necessárias à verificação regulamentar.

O caso de estudo consistiu num edifício habitacional de dois pisos, incluindo divisões residenciais e garagem integrada. Através deste modelo BIM e com recurso ao *Autodesk Revit*, foi possível avaliar quatro metodologias distintas para representação de compartimentos corta-fogo: *Room Tool*, *Spaces & Zones*, *Area Tool* e extensões externas.

Numa fase posterior, desenvolveram-se scripts automáticos em *Dynamo* através de quatro iterações. A integração do processo com o formato IFC também foi explorada, utilizando propriedades como *IfcZone* para agrupamento de compartimentos e propriedades personalizadas para armazenar dados de segurança contra incêndios, atendendo à relevância da interoperabilidade entre plataformas BIM.

Em complementaridade, a metodologia envolveu a tradução dos requisitos regulamentares do artigo 10.º (Locais de Risco), anexo III (Categorias de Risco) e artigo 18.º (Áreas Máximas de Compartimentação) em fluxogramas de raiz logicamente estruturados, e posteriormente implementados em três questionários online interativos desenvolvidos em linguagem HTML. Estas ferramentas, testadas e validadas por técnicos de SCIE, permitem orientar profissionais nas suas atividades profissionais, reduzindo erros de interpretação regulamentar e uniformizando critérios de classificação.

**Palavras-chave:** Segurança contra incêndios, BIM, Autodesk Revit, Dynamo, fluxograma, FireBIM



# Abstract

This report resulted from a collaborative curricular internship between the Instituto Superior de Engenharia do Porto and the company VN2R, with the main objective of analysing methodologies for integrating information in BIM models for fire safety verification, with a focus on fire compartmentation.

To achieve the mentioned objective, it was necessary, initially, to study the Portuguese regulatory framework for fire safety, namely Law No. 123/2019 and Ordinance No. 135/2020. The classification criteria for usage types, risk categories, risk locations and maximum areas of fire compartmentation were analysed, highlighting the critical variables necessary for regulatory verification.

The case study consisted of a two-storey residential building, including residential divisions and an integrated garage. Through this BIM model and using Autodesk Revit, it was possible to evaluate four distinct methodologies for representing fire compartments: Room Tool, Spaces & Zones, Area Tool and external extensions.

In a subsequent phase, automatic scripts were developed in Dynamo through four iterations. The integration of the process with the IFC format was also explored, using properties such as `IfcZone` for compartment grouping and custom properties to store fire safety data, considering the relevance of interoperability between BIM platforms.

In addition, the methodology involved the translation of regulatory requirements from Article 10 (Risk Locations), Annex III (Risk Categories) and Article 18 (Maximum Fire Compartmentation Areas) into logically structured flowcharts from scratch and subsequently implemented in three interactive online questionnaires developed in HTML language. These tools, tested and validated by fire safety technicians, allow professionals to be guided in their professional activities, reducing regulatory interpretation errors and standardising classification criteria.

**Keywords:** Fire safety, BIM, Autodesk Revit, Dynamo, flowchart, FireBIM



# Agradecimentos

Agradeço a todos os que tornaram possível a elaboração deste relatório de estágio de mestrado.

Agradeço a todos os docentes do ISEP que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional com a transmissão dos seus conhecimentos.

Agradeço ao meu orientador de estágio, o engenheiro Rui Gavina, pela sua disponibilidade, paciência e dicas que me forneceu durante o período de estágio.

Agradeço à engenheira Jéssica Reis, que como minha supervisora na empresa VN2R, que sempre me apoiou e esteve disponível para desenvolver o relatório de estágio.

Agradeço à engenheira Maria do Rosário, que esteve sempre disponível para me retirar qualquer dúvida sobre o relatório.

Quero também deixar um agradecimento especial aos meus amigos, que durante o estágio foram quem me ajudaram a desanuviar, me divertiram e sempre me apoiaram.

E finalmente agradecer à minha família, que tenho grande estima e carinho, e que sempre me apoiaram e ajudaram sempre que foi necessário, em particular os meus pais, minha tia e avós.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento	1
1.2	Contributos deste trabalho	1
1.3	Objetivos e Planeamento temporal	2
1.3.1	Objetivos e Tarefas desenvolvidas	2
1.3.2	Planeamento temporal	3
1.4	Empresa VN2R	4
1.5	Estrutura do relatório	5
1.6	Considerações iniciais	6
1.6.1	Digitalização do setor da construção civil	6
1.6.2	Automatização de verificações de Segurança contra Incêndios em Edifícios com recurso a BIM	8
1.6.3	O Projeto ITEA 4 22003 FireBIM	9
<b>2</b>	<b>Aspetos regulamentares de SCIE</b>	<b>11</b>
2.1	Enquadramento	11
2.1.1	Hierarquia geral	11
2.1.2	Legislação de SCIE em vigor	12
2.1.3	Entidades competentes	13
2.1.4	Licenciamento	13
2.2	Compartimentação corta-fogo	14
2.2.1	Princípios técnicos	14
2.2.2	Critérios de classificação	14
2.2.2.1	Utilização-tipo	14
2.2.2.2	Categorias de risco	17
2.2.2.3	Local de Risco	18
2.2.3	Áreas máximas dos Compartimentos	21
2.2.3.1	Exceções e Restrições da Compartimentação corta-fogo	22
2.3	Identificação de variáveis críticas	23
<b>3</b>	<b>Implementação de conceitos de SCIE em modelos BIM</b>	<b>25</b>
3.1	Enquadramento	25
3.2	Apresentação do caso de estudo	26
3.3	Criação dos compartimentos corta-fogo no Autodesk Revit	29
3.3.1	Metodologia de avaliação	29
3.3.1.1	Iteração 1: <i>Room Tool</i>	30
3.3.1.2	Iteração 2: Spaces & Zones	32

3.3.1.3	Iteração 3: <i>Area Tool</i> .....	34
3.3.1.4	Iteração 4: Extensão externa do Autodesk Revit .....	37
3.3.2	Metodologia adotada.....	38
3.3.2.1	Vantagens da ferramenta <i>Area</i> .....	38
3.3.2.2	Limitações reconhecidas.....	38
3.4	<i>Dynamo</i> .....	39
3.4.1	Introdução ao <i>Dynamo</i> .....	40
3.4.2	Metodologia .....	41
3.4.2.1	Primeira iteração .....	41
3.4.2.2	Segunda iteração.....	50
3.4.2.3	Terceira iteração .....	52
3.4.2.4	Quarta iteração .....	55
3.5	Integração com o formato IFC .....	60
3.5.1	Formato IFC .....	61
3.5.2	Estruturação da compartimentação corta-fogo em IFC .....	63
3.5.3	Parâmetros utilizados.....	64
<b>4</b>	<b>Ferramentas de apoio à decisão.....</b>	<b>69</b>
4.1	Fluxograma.....	69
4.1.1	Classificação dos Locais de Risco .....	72
4.1.2	Determinação de categorias de risco.....	77
4.1.3	Definição das áreas máximas de compartimentação .....	80
4.2	Classificadores online.....	82
<b>5</b>	<b>Validação e Desenvolvimentos futuros.....</b>	<b>89</b>
5.1	Possíveis validações.....	89
5.2	Possíveis Desenvolvimentos futuros .....	89
<b>6</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>91</b>
	<b>Referências .....</b>	<b>93</b>
	<b>Anexo I: Tabelas de SCIE da Lei 123/2019 .....</b>	<b>95</b>
	<b>Anexo II: Códigos concebidos .....</b>	<b>101</b>
	<b>Anexo III: Fluxogramas realizados .....</b>	<b>113</b>

# Lista de Figuras

Figura 1 - Planeamento proposto no início do estágio.....	4
Figura 2 - Linha temporal do estágio .....	4
Figura 3 - Logo da empresa VN2R.....	5
Figura 4 - Visualização 3D de um edifício, com integração de várias especialidades .....	6
Figura 5 - Fluxo de informações através de ficheiros IFC .....	8
Figura 6 - Hierarquia das normas jurídicas .....	12
Figura 7 - Exemplos de alguns sistemas de Segurança contra Incêndios presentes na norma.....	12
Figura 8 - Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC) .....	13
Figura 9 - <i>Autodesk Revit</i> .....	25
Figura 10 - Planta do Piso 0 do caso de estudo .....	26
Figura 11 - Planta do Piso 1 do caso de estudo .....	27
Figura 12 - Visão 3d do caso de estudo .....	27
Figura 13 - Alçado vertical do caso de estudo .....	28
Figura 14 - Localização da ferramenta <i>Room</i> .....	30
Figura 15 - Ferramenta para criação de <i>Rooms</i> .....	30
Figura 16 - Colocação geométrica do <i>Room</i> .....	30
Figura 17 - Ferramenta de ajuste de demarcações da <i>Room tool</i> .....	31
Figura 18 - Diferentes ferramentas de desenho disponíveis no <i>Autodesk Revit</i> para o ajuste de delimitações.....	31
Figura 19 - Alguns dos parâmetros disponíveis nas propriedades .....	31
Figura 20 - Localização da <i>Spaces &amp; Zones Tool</i> .....	32
Figura 21 - Posicionamento da <i>Space Tool</i> numa divisão.....	32
Figura 22 - Ferramenta <i>Zone</i> no <i>Autodesk Revit</i> .....	33
Figura 23 - Agrupamento de 3 espaços pela ferramenta <i>Zone</i> .....	33
Figura 24 - Posição da ferramenta <i>Area</i> na <i>ribbon</i> do <i>Autodesk Revit</i> .....	34
Figura 25 - Localização das propriedades da ferramenta <i>Area</i> .....	34
Figura 26 - Propriedades geométricas da ferramenta <i>Area</i> .....	35
Figura 27 - Localização das <i>Area Schemes</i> no <i>Autodesk Revit</i> .....	35
Figura 28 - Localização da ferramenta <i>Design Options</i> no <i>ribbon</i> do <i>Autodesk Revit</i> .....	35
Figura 29 - Criação de um novo <i>Option Set</i> .....	36
Figura 30 - Seleção do tipo de área desejada.....	36
Figura 31 - Extensão <i>Roombook</i> , <i>Areabook</i> , and <i>Buildingbook</i> .....	37
Figura 32 - <i>Dynamo</i> .....	39
Figura 33 - Exemplo da programação visual no <i>Dynamo</i> .....	40
Figura 34 - Conjunto dos nós para a extração das superfícies interiores das paredes .....	42
Figura 35 - Conjunto de nós para a extração das superfícies superiores do pavimento.....	43
Figura 36 - Visualização 3d das superfícies extraídas.....	43
Figura 37 - Grupo de nós para extensão das superfícies das paredes.....	44
Figura 38 - Grupo de nós para extensão da superfície do pavimento.....	44
Figura 39 - Superfícies das paredes estendidas.....	44

Figura 40 - Superfície do pavimento estendido.....	44
Figura 41 - Interseção das superfícies e o seu agrupamento .....	45
Figura 42 - Linhas originadas a partir da interseção das superfícies .....	45
Figura 43 - Compartimento conectado antes dos pontos serem ordenados.....	46
Figura 44 - Grupo de nós para a criação de pontos e orientação de vetores para geometria consistente .....	47
Figura 45 - Linhas feitas após a ordenação dos pontos.....	47
Figura 46 - Criação dos nós e da área .....	48
Figura 47 - Área criada a partir do script automático realizado no Dynamo .....	48
Figura 48 - Nova geometria complexa de testes, onde se verifica a área realizado manualmente.....	49
Figura 49 - Área feita a partir do script automático .....	49
Figura 50 - Superfícies interiores das paredes.....	50
Figura 51 - Conjunto de nós usados na 2ª iteração.....	51
Figura 52 - Perímetro das superfícies .....	51
Figura 53 - Resultado obtido após o 1º nó na terceira iteração.....	52
Figura 54 - Número de curvas obtidas pelo 1º python script.....	53
Figura 55 - 1º conjunto de nós da terceira iteração .....	53
Figura 56 - 2º conjunto de nós da terceira iteração .....	54
Figura 57 - Pontos criados a partir do script, fugindo da geometria desejada.....	54
Figura 58 - Primeiro conjunto de nós da 4ª iteração.....	55
Figura 59 - Curva no eixo central das paredes.....	56
Figura 60 - Segundo conjunto de nós na quarta iteração.....	56
Figura 61 - Curvas após a sua transladação e extensão nas extremidades.....	57
Figura 62 - Curvas após a sua junção, delimitando as faces superiores e interiores das paredes .....	57
Figura 63 - Ilustração da superfícies criada e o ponto central posicionado .....	58
Figura 64 - Último conjunto de nós da quarta iteração.....	59
Figura 65 - Visualização no Autodesk Revit da área criada corretamente .....	59
Figura 66 - Logo da buildingSMART International .....	61
Figura 67 - As quatro camadas em que o IFC esta organizado.....	61
Figura 68 - Diagrama hierárquico mostrando a estrutura de arquivos IFC e classificação dos elementos do edifício .....	62
Figura 69 - A classe <i>IfcSpatialZone</i> apresentada no dicionário da buildingSMART (bsDD) .....	63
Figura 70 - A classe <i>IfcZone</i> apresentada no dicionário da buildingSMART(bsDD).....	63
Figura 71 - <i>Shared parameters</i> no Autodesk Revit .....	66
Figura 72 - Criação do <i>project parameters</i> e as suas propriedades.....	66
Figura 73 - Parâmetros visíveis nas propriedades de uma área no Autodesk Revit.....	67
Figura 74 - Lista onde é enumerada as Utilização-tipo (C) e as suas ocupações (B) .....	67
Figura 75 - Seleção do índice de efetivo para calculo do mesmo.....	68
Figura 76 - Lista dos Locais de risco .....	68
Figura 77 - 1º conjunto de nós no fluxograma .....	70
Figura 78 - 2º conjunto de nós no fluxograma .....	71
Figura 79 - 3º conjunto de nós do fluxograma .....	71
Figura 80 - 4º conjunto de nós do fluxograma .....	72
Figura 81 - Início do fluxograma de classificação dos Locais de Risco.....	73

Figura 82 - 2º conjunto de nós do fluxograma de classificação de locais de risco .....	74
Figura 83 - 3º conjunto de nós do fluxograma de classificação de locais de risco .....	75
Figura 84 - Última parte do fluxograma de locais de risco .....	76
Figura 85 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo I .....	78
Figura 86 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo II .....	79
Figura 87 - Fluxograma para definição das áreas máximas de compartimentação corta-fogo .....	81
Figura 88 - Fluxograma para aplicar o Artigo n.º 302 da Portaria 123/2020.....	81
Figura 89 - Classificador online dos locais de Risco .....	82
Figura 90 - Classificador online das Categorias de Risco das UT .....	82
Figura 91 - Classificador online das Áreas máximas de compartimentação corta-fogo.....	83
Figura 92 - Classificador a mostrar não aplicável como resposta.....	83
Figura 93 - Segunda página do classificador .....	84
Figura 94 - Classificador a mostrar a classificação do Local de Risco F .....	84
Figura 95 - Questionário específico para a Utilização-tipo I (1/2) .....	85
Figura 96 - Questionário específico para a Utilização-tipo I (2/2) .....	85
Figura 97 - Resultado da classificação da categoria de risco da UT I.....	85
Figura 98 - Pergunta específica quando selecionada a UT II .....	86
Figura 99 - Solução se a escolha for acima ou no plano de referência .....	86
Figura 100 - Solução se a escolha for abaixo do plano de referência .....	87
Figura 101 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo III .....	114
Figura 102 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo IV e V.....	114
Figura 103 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo VI e IX.....	115
Figura 104 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo VII.....	115
Figura 105 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo VIII.....	116
Figura 106 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo X.....	116
Figura 107 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo XI.....	117
Figura 108 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo XII.....	117



# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Escalões de tempo da resistência ao fogo de elementos de isolamento e proteção entre UT distintas.....	17
Tabela 2 - Fatores de risco em cada UT .....	18
Tabela 3 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco B.....	20
Tabela 4 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco C.....	20
Tabela 5 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco C agravado .....	20
Tabela 6 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco D .....	20
Tabela 7 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco E.....	20
Tabela 8 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco F.....	20
Tabela 9 - Áreas máximas de compartimentação geral corta-fogo.....	21
Tabela 10 - Áreas máximas de compartimentação geral corta-fogo da utilização -tipo XII.....	21
Tabela 11 - Lista das propriedades necessárias com os seus respetivos parâmetros e observações .....	65
Tabela 12 - Riscos agravados .....	75
Tabela 13 - Categorias de risco da utilização-tipo I .....	96
Tabela 14 - Categorias de risco da utilização-tipo II .....	96
Tabela 15 - Categorias de risco da utilização-tipo III .....	96
Tabela 16 - Categorias de risco da utilização-tipo IV e V.....	97
Tabela 17 - Categorias de risco da utilização-tipo VI e IX .....	97
Tabela 18 - Categorias de risco da utilização-tipo VII.....	98
Tabela 19 - Categorias de risco da utilização-tipo VIII.....	98
Tabela 20 - Categorias de risco da utilização-tipo X .....	98
Tabela 21 - Categorias de risco da utilização-tipo XI .....	99
Tabela 22 - Categorias de risco da utilização-tipo XII .....	99



# Lista de Códigos

Código 1 - Código usado para apagar as linhas duplicadas .....	46
Código 2 - Código usado na Iteração 2 .....	103
Código 3 - 1º Código usado na Iteração 3.....	105
Código 4 - 2º Código usado na Iteração 3.....	107
Código 5 - 3º Código usado na Iteração 3.....	108
Código 6 - 4º Código usado na Iteração 3.....	109
Código 7 - Código usado na 4º iteração.....	111



# Acrónimos e Símbolos

## Lista de Acrónimos

<b>BIM</b>	<i>Building Information Modeling</i>
<b>CAD</b>	<i>Computer Aided Design</i>
<b>IFC</b>	<i>Industry Foundation Classes</i>
<b>SCIE</b>	Segurança contra Incêndios em Edifícios
<b>P&amp;D</b>	Pesquisa e desenvolvimento
<b>RJ-SCIE</b>	Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios
<b>HTML</b>	<i>HyperText Markup Language</i>
<b>ANEPC</b>	Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil
<b>UT</b>	Utilização-Tipo
<b>AVAC</b>	Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado
<b>API</b>	<i>Application Programming Interface</i>
<b>bsDD</b>	<i>buildingSMART Data Dictionary</i>



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Dissertação, Projeto e Estágio (DIPRE), da especialização de Construções do 2º ano do Mestrado de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Este estágio foi desenvolvido na VN2R - *Engineering Innovation Consulting*, Lda de Fev/2025 a Set/2025, sob a orientação da Eng.ª Rosário Oliveira e do Eng.º Rui Gavina, enquanto a integração na empresa foi acompanhada e supervisionada pela Eng.ª Jéssica Reis, que assegurou o apoio necessário ao desenvolvimento das atividades propostas no estágio.

A escolha da empresa e do tema de estágio resultou da conjugação de vários fatores: o interesse pela área da segurança contra incêndios, que constitui um desafio técnico e relevante na engenharia civil, e a curiosidade pelo uso de ferramentas digitais que permitem integrar diversas informações nos modelos, possibilitando a verificação posterior da conformidade dos requisitos. Por fim, destaca-se ainda a motivação proporcionada pelo tipo de trabalho inovador que a VN2R desenvolve, alinhado com as tendências tecnológicas atuais na construção civil.

## 1.2 Contributos deste trabalho

Este relatório de estágio tem como principal contributo a procura e desenvolvimento de soluções para a automação de processos que, tradicionalmente, na área da Segurança Contra Incêndios em Edifícios, são realizados manualmente. Através da integração da metodologia BIM com ferramentas como *Dynamo* e *Autodesk Revit*, foi possível criar *scripts* que automatizam e fluxogramas que simplificam parte do trabalho técnico relacionado com a definição dos compartimentos corta-fogo, nomeadamente na modelação e verificação das áreas máximas permitidas.

O trabalho desenvolvido traz benefícios para a empresa, ao disponibilizar ferramentas digitais que promovem a eficiência, reduzem possíveis erros manuais e aumentam a rapidez na análise e verificação dos projetos. Esta automação permite ainda uma melhor integração interdisciplinar, facilitando a comunicação entre técnicos de segurança contra incêndios e os projetistas, o que contribui para a melhoria global dos processos de conceção.

Para o desenvolvimento pessoal e profissional do estudante, o trabalho foi significativo pela aprendizagem aprofundada do tema da segurança contra incêndios, assim como pela aquisição de

competências na utilização de software BIM, que são uma mais-valia para a sua futura atuação na área.

## 1.3 Objetivos e Planeamento temporal

### 1.3.1 Objetivos e Tarefas desenvolvidas

Os objetivos do estágio podem ser agrupados em duas vertentes principais: os objetivos gerais relacionados à formação académica e profissional do estudante, e os objetivos específicos que visam a concretização do projeto em questão.

De forma geral, pretende-se:

- Complementar a formação académica pela aplicação prática dos conhecimentos e competências teórico-práticas adquiridos ao longo do curso de Engenharia Civil, especialização em Construções;
- Ensaiar práticas ajustadas ao mundo profissional, facilitando a integração do estudante no mercado de trabalho e desenvolvimento pessoal;
- Estimular o desenvolvimento de hábitos de trabalho, sentido de responsabilidade e espírito crítico, essenciais ao exercício da profissão de engenheiro civil;
- Participar num projeto inovador e internacional, adquirindo experiência em ferramentas digitais avançadas e metodologias BIM relacionadas com a segurança contra incêndios em edifícios.

Para atingir estes objetivos gerais, o estágio focou-se especificamente no desenvolvimento de modelos BIM para integração automática de informação relativa à Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE), promovendo a verificação de conformidade regulamentar de forma eficiente e padronizada no contexto português e europeu, o estágio ainda se encontra integrado no projeto europeu ITEA4 22003 FireBIM. Esta metodologia visa otimizar os processos de conceção, validação e licenciamento de projetos de construção, alinhando-se com as exigências normativas estabelecidas pelo Decreto-Lei n.º 220/2008 e suas atualizações seguintes, bem como o Regime Jurídico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE) aprovado pela Portaria n.º 1532/2008 e suas atualizações posteriores.

As principais tarefas desenvolvidas durante o estágio para concretizar este objetivo foram:

- Estudo exaustivo da regulamentação portuguesa de SCIE;
- Uso do software *Autodesk Revit*;
- Demonstração da aplicação prática do formato IFC, otimizando a interoperabilidade entre disciplinas;
- Familiarização com o software de *scripts Dynamo*;

- Criação de Fluxogramas de decisão sobre a regulamentação de SCIE;
- Criação de Aplicações em HTML para fácil acesso e utilização das normas de SCIE.

### 1.3.2 Planeamento temporal

O estágio decorreu entre março e setembro, organizado em várias fases que permitiram uma progressão estruturada e orientada para o desenvolvimento do projeto (Figura 2).

Inicialmente, dedicou-se um curto período à familiarização e estudo dos regulamentos aplicáveis à Segurança Contra Incêndios em edifícios bem como de avaliação de funcionalidades do software *Autodesk Revit*, com especial foco nos compartimentos corta-fogo, com duração aproximada de duas semanas.

Posteriormente, avançou-se para o desenvolvimento de *scripts* em *Dynamo* em *Revit*, destinados à automatização da criação dos compartimentos corta-fogo no modelo BIM, fase que se estendeu por cerca de dois meses e incluiu momentos de avanço e recuo. Na fase seguinte, com duração de aproximadamente duas semanas, houve análise das classes e propriedades do bsDD (IFC 4.3), com o intuito de avaliar a sua incorporação no *Autodesk Revit* e garantir a classificação e modelação consistente, segundo a norma IFC.

Além disso, foi desenvolvido um conjunto complexo de fluxogramas explicativos, que representam as etapas e classificações técnicas necessárias para a definição das áreas máximas dos compartimentos corta-fogo, com duração de dois meses. Como se observa na Figura 1, o planeamento proposto antes do início do estágio é diferente da linha temporal, que realmente aconteceu no estágio (Figura 2).

No que diz respeito ao acompanhamento e controlo do progresso, as reuniões de supervisão realizaram-se com periodicidade semanal, com inerente frequência semanal ajustada às necessidades, para esclarecimento de dúvidas e alinhamento das tarefas propostas. A Eng.ª Jéssica Reis e o Eng. Rui Gavina participaram regularmente nestes encontros, que se realizaram sobretudo em formato online devido à flexibilidade proporcionada.

Este planeamento estruturado permitiu o cumprimento eficiente dos objetivos propostos, assegurando uma evolução gradual e consistente do estágio, alinhada com os requisitos técnicos e académicos.

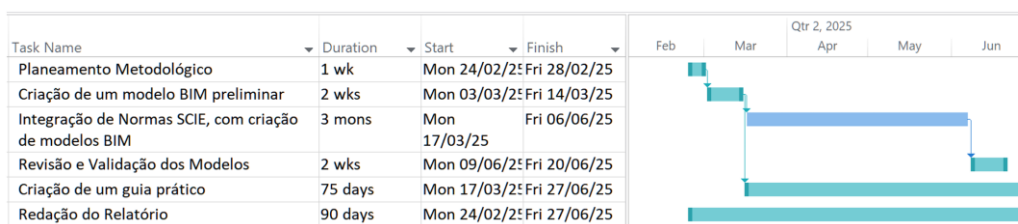


Figura 1 - Planeamento proposto no início do estágio

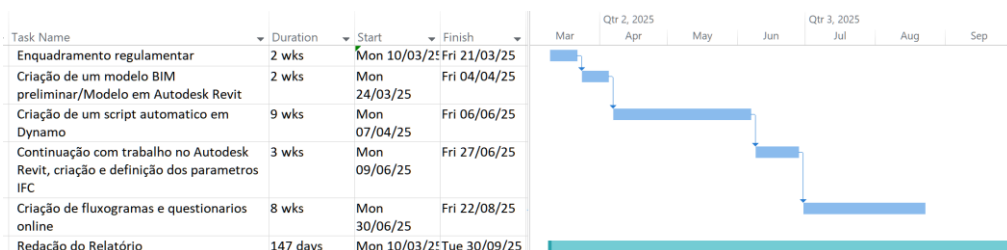


Figura 2 - Linha temporal do estágio

## 1.4 Empresa VN2R

A empresa onde se realizou o estágio é a VN2R (Figura 3). A empresa destaca-se pelas suas diversas áreas de especialização, que abrangem engenharia, BIM, Consultadoria, Formação em BIM, software e engenharia de estruturas, Planeamento e Gestão de Projeto, Tecnologia Digital Aplicável ao Meio Edificado, bem como Sustentabilidade e Análise do Ciclo de Vida de Estruturas. No âmbito dos seus serviços de engenharia, apresenta um portfólio completo que inclui projetos de estruturas e fundações, reabilitação estrutural, avaliação e reforço sísmico, projetos de contenções especiais, obras de arte, avaliação do comportamento dinâmico das estruturas, dimensionamento ao fogo e otimização de projetos estruturais. Em relação ao BIM, a VN2R oferece consultadoria, formação, modelação 3D, coordenação multidisciplinar e implementação empresarial da metodologia. Para complementar os seus serviços, a empresa VN2R conta ainda com parceiros externos que asseguram a preparação de estruturas metálicas e armaduras de betão armado, bem como projetos de arquitetura, acústica, hidráulica predial, gás, AVAC, instalações elétricas, sistemas fotovoltaicos, telecomunicações e segurança contra incêndios. Esta combinação de competências e serviços permite à empresa fornecer soluções integradas e inovadoras que respondem às exigências técnicas e de sustentabilidade do setor da construção em Portugal.

A VN2R também faz parte do consorcio BIM Portugal, juntamente com a empresa Prospectiva onde se comprometem a apoiar as autarquias na sua jornada de transformação digital, garantindo o sucesso da implementação do BIM em Portugal.



Figura 3 - Logo da empresa VN2R

## 1.5 Estrutura do relatório

O presente relatório encontra-se dividido em 6 capítulos descritos, sumariamente nos parágrafos seguintes.

No primeiro capítulo, efetua-se o levantamento dos possíveis contributos deste trabalho, são definidos os objetivos do trabalho, apresenta-se o planeamento dos trabalhos durante o estágio e a empresa onde se realizou o estágio. Este capítulo é finalizado com as considerações iniciais onde se introduzem aspetos tecnicamente relevantes para a interpretação dos seguintes capítulos, como a digitalização do setor da construção civil, os modelos BIM na área de SCIE, o FireBIM e o Papel do BIM na Verificação Regulamentar.

No segundo capítulo aborda-se o enquadramento regulamentar necessário para a análise e verificação de SCIE em várias áreas específicas relevantes para o projeto.

No terceiro capítulo abrange-se a modelação em *Autodesk Revit*, e a sua interligação com o IFC. Além disso, explicam-se os vários *scripts* e algoritmos criados em *Dynamo* para a criação automática de compartimentos corta-fogo.

No quarto capítulo explora-se os fluxogramas realizados no âmbito de criação de ferramentas de apoio à decisão, bem como os questionários online em formato HTML.

No quinto capítulo analisa-se as possíveis validações e desenvolvimentos futuros que o trabalho poderá sofrer para melhor a utilização em situações reais de trabalho.

O sexto capítulo encerra o documento, com as apreciações e conclusões finais do trabalho.

## 1.6 Considerações iniciais

Com o objetivo de otimizar a compreensão dos próximos capítulos e o trabalho efetuado, integra-se neste tópico a apresentação de conceitos e etapas importantes, de forma sucinta.

### 1.6.1 Digitalização do setor da construção civil

A digitalização do setor da construção civil tem levado a uma transformação fundamental nos processos utilizados para a conceção, planeamento e execução dos projetos. Esta evolução digital tem introduzido novas metodologias e tecnologias que permitem uma abordagem mais eficiente e eficaz na gestão de projetos de construção civil.

O *Building Information Modeling* (BIM) emerge como uma das metodologias mais inovadoras e transformadoras neste contexto, substituindo os métodos tradicionais baseados em modelos digitais de desenhos 2D que incorporam informação paramétrica abrangentes no projeto. Esta metodologia incorpora a utilização de modelos visuais tridimensionais (3D), facilitando a visualização detalhada do resultado do projeto e promovendo a comunicação eficiente entre as diferentes especialidades (Figura 4) que integram os projetos de construção civil. (Cardoso et al., 2012)

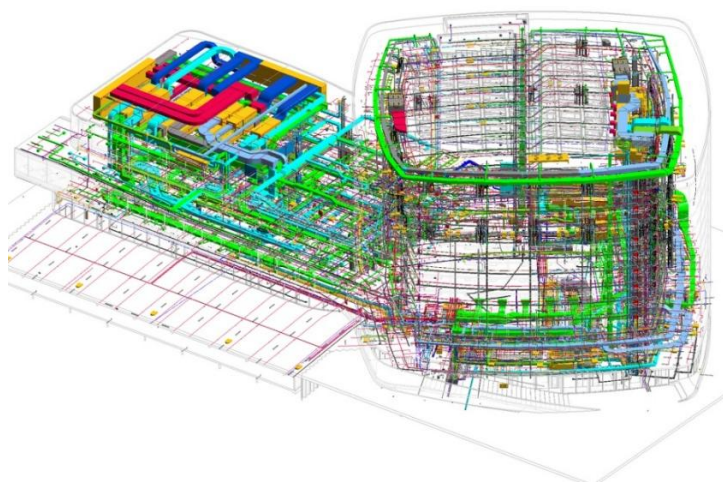


Figura 4 - Visualização 3D de um edifício, com integração de várias especialidades

A metodologia BIM revoluciona os fluxos de trabalho tradicionais ao permitir que os utilizadores acedam e adicionem informações relevantes ao longo do ciclo de vida da construção, representando uma evolução significativa face aos sistemas CAD tradicionais. Esta evolução permite, não apenas a visualização em 3D, mas também a gestão e comunicação de dados digitais que podem ser extraídos, trocados ou interligados para apoiar a tomada de decisões relacionadas com cada ativo nas suas fases de projeto, construção e manutenção.

Em Portugal, a transformação da construção civil está a ser significativa, com maior ênfase na atualização e eficácia dos processos. A digitalização foi impulsionada pelo Decreto-Lei n.º 10/2024, promulgado em 8 de janeiro de 2024, que institui marcos importantes para a modernização do setor da construção. Este Decreto-Lei visa simplificar e aperfeiçoar os processos de licenciamento no âmbito do urbanismo, ordenamento do território e indústria, promovendo também a implementação do BIM. Neste âmbito, o Decreto-Lei n.º 10/2024 introduz prazos específicos para futuras iterações, nomeadamente, com um projeto-piloto previsto para 2027 que vai albergar um conjunto de municípios e a obrigatoriedade de apresentação dos projetos de arquitetura, modelados digital e parametricamente de acordo com a metodologia BIM a partir de janeiro de 2030. Esta implementação progressiva posiciona Portugal como pioneiro na adoção do BIM em processos de licenciamento, demonstrando o compromisso nacional com a modernização e eficiência no setor.

Neste contexto de transformação digital crescente, a metodologia *openBIM* surge como um complemento essencial ao BIM, visto que é uma abordagem universal para projetos, construções e operação de construções baseada em padrões abertos e desempenha um papel crucial na digitalização no setor. A filosofia *openBIM* apoia a cooperação transparente e aberta de todos os participantes do projeto, independentemente do software utilizado. Ao adotar padrões abertos, o *openBIM* assegura que todas as partes interessadas no projeto tenham acesso às mesmas informações, promovendo uma comunicação transparente e reduzindo erros resultantes à falta de clareza ou dados inconsistentes. Considerando que o BIM opera com modelos paramétricos, ou seja, representações de um conjunto de informações e propriedades definidas pelo utilizador para simular a realidade, o *openBIM* torna-se essencial para garantir que essas informações sejam coordenadas e partilhadas de forma padronizada, compatível e eficiente.

Como parte integrante da filosofia do *openBIM*, o IFC (*Industry Foundation Classes*) permite a interoperabilidade entre plataformas, garantindo que todos os dados de um modelo sejam acessíveis e utilizáveis ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, independentemente do software utilizado. Este formato desempenha um papel crucial na proteção da integridade dos dados, no incentivo à colaboração multidisciplinar e na preservação a longo prazo das informações do projeto, ao eliminar a dependência de formatos proprietários. Assim, a adoção do IFC permite que governos e organizações implementem fluxos de trabalho (Figura 5) alinhados às melhores práticas de padronização e gestão de dados no setor da construção (Khan et al., 2020).

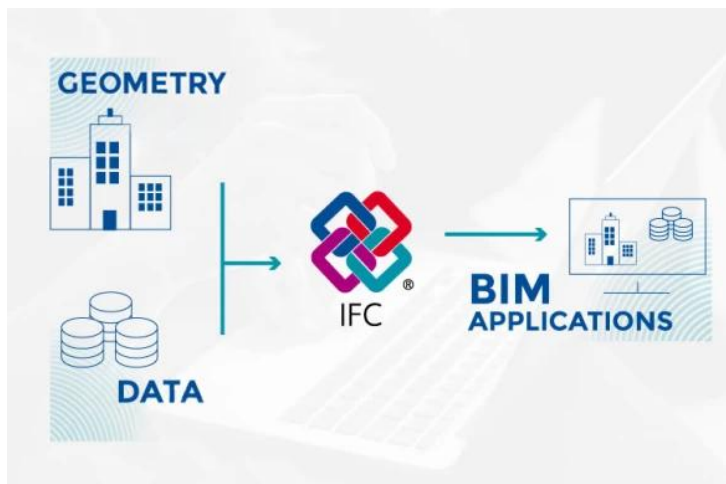


Figura 5 - Fluxo de informações através de ficheiros IFC

### 1.6.2 Automatização de verificações de Segurança contra Incêndios em Edifícios com recurso a BIM

A Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE) representa uma área essencial na construção civil, sendo regulamentada em Portugal pelo Decreto-Lei n.º 220/2008, na atualização mais recente, o Decreto-Lei n.º 123/2019 e a portaria complementar a Portaria n.º 1532/2008, na atualização mais recente a Portaria n.º 135/2020. Esta regulamentação estabelece regras técnicas exigentes que devem ser obedecidas em todas as fases do projeto e construção.

A utilização de modelos BIM na área de SCIE apresenta-se como uma ferramenta essencial para garantir a conformidade regulamentar e a eficiência no planeamento de sistemas de segurança. O BIM permite a integração de informações detalhadas e paramétricas sobre medidas de SCIE, provenientes dos regulamentos, como compartimentação corta-fogo, sistemas de deteção e combate a incêndios, bem como rotas de evacuação, no modelo digital desde as fases iniciais do projeto. Esta abordagem possibilita a realização de análises e verificações automáticas, garantindo que os requisitos legais e normativos sejam cumpridos com maior precisão e reduzindo eventuais erros que poderiam comprometer a segurança e, desta forma, também aumentando a rapidez do processo (Choi et al., 2012).

Atualmente, a metodologia de verificação dos requisitos de SCIE é caracterizada por:

- Processos morosos e suscetíveis a erro humano na interpretação das regulamentações;
- Dificuldades na coordenação entre diferentes especialidades;
- Verificações tardias que podem resultar em alterações custosas e disruptivas nos projetos, como:
  - Modificações estruturais substanciais e reconfiguração de espaços;

- Relocalização forçada de espaços devido a incompatibilidades;
- Risco de inviabilização do projeto devido a conformidade com a regulamentação.
- Inconsistências na aplicação de regulamentos entre diferentes técnicos.

A automatização dos processos de SCIE permite minimizar estas limitações através da verificação automática da conformidade dos modelos com base nas regulamentações de cada país. Esta abordagem utiliza ferramentas como *Dynamo* ou *Solibri* para implementar regras de verificação que asseguram o cumprimento dos requisitos normativos de forma sistemática e consistente (Kater & Ruschel, 2020; Schönfelder et al., 2024).

A abordagem prescritiva, baseada na aplicação direta de normas e regulamentos estabelecidos, é particularmente adequada para a automatização. Esta metodologia consiste em identificar requisitos normativos e aplicá-los aos projetos através de parâmetros específicos, como compartimentação corta-fogo, distâncias mínimas para rotas de evacuação, larguras mínimas dos corredores, e instalações de sistemas ativos e passivos (Wang et al., 2014) (Kater & Ruschel, 2020).

As etapas da verificação automática baseada em regras paramétricas incluem:

- Fase 1) Interpretação das regras e estruturação lógica para sua aplicação;
- Fase 2) Preparação do modelo de construção com informação paramétrica adequada;
- Fase 3) Execução da regra através de algoritmos de verificação;
- Fase 4) Descrição dos resultados de verificação com identificação de não-conformidades para análise.

### 1.6.3 O Projeto ITEA 4 22003 FireBIM

Como abordado anteriormente, o trabalho está inserido no projeto ITEA 4 22003 FireBIM, o qual se propõe a desenvolver uma plataforma BIM e *open source* que melhore e facilite o acesso a documentação de SCIE. Note-se que, como os regulamentos de SCIE variam de país para país, a colaboração dentro da área do SCIE torna-se exigente, dispendiosa e propensa a elevados riscos tornando a cooperação internacional complexa e suscetível a falhas.

O FireBIM pretende harmonizar e comunicar os requisitos de segurança contra incêndios dos países participantes de forma aberta, facilitando a interpretação coletiva das regulamentações e tendo como mote a verificação de forma automática da conformidade dos edifícios. Como resultado, as equipas de projeto serão assistidas digitalmente na conceção de edifícios mais seguros e eficientes em termos de custos, promovendo uma colaboração mais eficaz entre disciplinas e fronteiras europeias. Atualmente, o FireBIM reúne os regulamentos de incêndio de cinco países: Bélgica, Dinamarca, Lituânia, Países Baixos e Portugal. O projeto integra 22 parceiros de diferentes áreas como arquitetura, empresas de

construção, consultores, especialistas em segurança contra incêndios, BIM, design de software e instituições acadêmicas.

De acordo com Dederichs, (2023) os benefícios desta integração do FireBIM no fluxo do projeto são:

- Redução de custos de 3% para proprietários de edifícios através do aumento da eficiência;
- Aumento em 50% de clientes, vendas e participações em projetos P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) para técnicos de segurança contra incêndios enquanto esses poupam 5% nos custos;
- Redução entre 7-10% nos atrasos e 5% nos custos de penalizações correspondentes para empreiteiros e fabricantes.

A interoperabilidade visada pelo FireBIM também será proporcionada pelo formato IFC que, como já abordado, garante que as informações de SCIE sejam preservadas e acessíveis independentemente do software utilizado, promovendo a colaboração entre diferentes especialidades ao longo do ciclo de vida do projeto. Esta abordagem representa um avanço significativo na modernização dos processos de SCIE, alinhando-se com as exigências atuais de sustentabilidade, eficiência e inovação tecnológica no setor da construção (Siddiqui et al., 2021).

## 2 Aspectos regulamentares de SCIE

Na fase inicial do estágio, procedeu-se à análise dos Decretos-Lei e das normas técnicas relevantes para a SCIE, de modo a preparar a futura introdução da informação de SCIE em modelos BIM.

No âmbito do presente relatório, a análise da SCIE concentra-se, em particular, na compartimentação corta-fogo, tema que está diretamente alinhado com o foco do projeto europeu ITEA 4 22003 FireBIM. Deste modo, este capítulo inicia-se com a apresentação dos principais regulamentos em vigor relativos à SCIE em Portugal, destacando-se a hierarquia legislativa, as entidades competentes para a sua aplicação e o processo de licenciamento associado aos projetos de SCIE. Seguidamente, aborda-se como estes regulamentos orientam a determinação dos compartimentos corta-fogo e os parâmetros técnicos associados.

O objetivo principal deste capítulo consiste, assim, em traduzir a legislação portuguesa de SCIE para dados digitais integráveis em modelos BIM, percorrendo as etapas de compreensão da regulamentação, identificação dos constrangimentos e parâmetros envolvidos e a definição das metodologias para converter estes requisitos normativos em informação estruturada no modelo.

### 2.1 Enquadramento

#### 2.1.1 Hierarquia geral

A organização jurídica portuguesa baseia-se numa hierarquia normativa em que normas de maior valor prevalecem sobre as de menor valor.

A hierarquia da legislação em Portugal (Figura 6) é a seguinte (Furtado, 2020):

- i. Lei Constitucional
  - ❖ Revisão Constitucional
- ii. Tratado internacional
- iii. Lei ordinária
- iv. Decreto-Lei
- v. Decreto regional
- vi. Decreto regulamentar
- vii. Decreto regulamentar regional
- viii. Resolução do Conselho de Ministros
- ix. Portaria

- x. Despacho
- xi. Postura

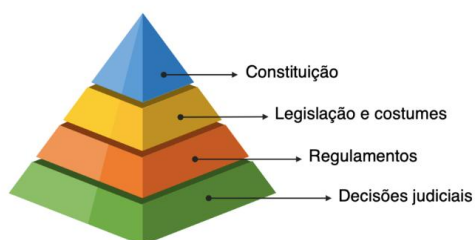


Figura 6 - Hierarquia das normas jurídicas

Em caso de conflito entre normas de igual categoria prevalece a mais recente, mas uma norma inferior nunca pode contrariar uma de hierarquia superior. Esta estrutura garante que as normas sejam editadas pelos órgãos competentes, conforme seu grau de importância (Furtado, 2020).

### 2.1.2 Legislação de SCIE em vigor

O Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE) foi consagrado no Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro e nas suas atualizações no Decreto-Lei n.º 224/2015, de 8 de outubro, no Decreto-Lei n.º 95/2019 de 18 de julho e, no mais recente e agora em vigor, a Lei n.º 123/2019 de 18 de outubro.

O Decreto-Lei n.º 123/2019 consolida, entre outros aspetos, as definições para grande parte dos edifícios e recintos, distribuindo-os em 12 utilizações-tipo, cada uma com quatro categorias de risco de incêndio possíveis. Por sua vez, as disposições técnicas gerais e específicas de SCIE referentes às condições exteriores comuns, às condições dos equipamentos e sistemas de segurança (Figura 7), às condições de evacuação e etc, são definidas pelo regulamento técnico, a Portaria 1532/2008, com a sua atualização na Portaria 135/2020.

Em termos hierárquicos, o Decreto-Lei prevalece sobre as Portarias técnicas que por sua vez, têm prioridade sobre quaisquer normas municipais aplicáveis.



Figura 7 - Exemplos de alguns sistemas de Segurança contra Incêndios presentes na norma

### 2.1.3 Entidades competentes

No âmbito do SCIE, a aplicação do regime divide competências entre a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC) e as Câmaras Municipais. De forma geral, a ANEPC (Figura 8) é a entidade nacional que assegura o cumprimento das normas de segurança contra incêndio. Cabe-lhe, ainda, credenciar os técnicos e entidades (autores de projeto, empresas de engenharia, corporações de bombeiros, etc.) para emitir pareceres, realizar vistorias e inspecionar o cumprimento das condições de SCIE (Lei n.o 123/2019)



Figura 8 - Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC)

### 2.1.4 Licenciamento

O licenciamento, nas utilizações-tipo de 1.ª categoria de risco, é simplificado visto que não é exigido o projeto técnico de SCIE completo, mas sim o preenchimento de uma ficha de segurança para cada utilização-tipo, conforme modelo aprovado pela ANEPC. Essa ficha deve ser entregue na Câmara Municipal responsável pelo processo de licenciamento urbanístico (ANEPC, 2023). Note-se que, para as categorias superiores, é exigido o projeto de SCIE elaborado por técnico habilitado (engenheiro ou arquiteto com certificação especializada).

No pedido de licença de utilização do edifício, o diretor da obra deve subscrever um termo de responsabilidade declarando, a conformidade da obra com as normas de SCIE.

A entrega dos projetos é concretizada via eletrónica, como previsto no regime jurídico da urbanização e edificação, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro, e regulamentado pela Portaria n.º 216 -A/2008, de 3 de março, o sistema informático integra todas as fases do processo de urbanização e edificação, permitindo de forma prática:

- A entrega de requerimentos e comunicações e documentos;
- A consulta pelos interessados do estado dos procedimentos;
- O envio de pareceres, relatórios de vistorias e de inspeções de SCIE;
- A decisão.

O encadeamento mencionado permite à ANEPC e aos municípios acompanhar os requisitos de autoproteção e emitir os pareceres obrigatórios antes da conclusão do licenciamento (Lei n.o 123/2019).

## **2.2 Compartimentação corta-fogo**

O foco do estágio, dentro das áreas abrangidas pela SCIE, foi a compartimentação corta-fogo. Por essa razão, o estudo dos regulamentos recaiu sobre os princípios fundamentais associados, incluindo as restrições e exceções definidas pela legislação portuguesa de SCIE.

### **2.2.1 Princípios técnicos**

A compartimentação corta-fogo constitui uma das estratégias essenciais de segurança contra incêndios em edifícios, sendo o seu objetivo final conter e limitar a propagação do fogo, fumo e gases de combustão para a salvaguarda dos ocupantes.

Segundo o artigo 3º do anexo I da Portaria 135/2020, um compartimento corta-fogo define-se como «parte de um edifício, compreendendo um ou mais espaços, divisões ou pisos, delimitada por elementos de construção com resistência ao fogo adequada a, durante um período de tempo determinado, garantir a proteção do edifício ou impedir a propagação do incêndio ao resto do edifício ou, ainda, a fracionar a carga de incêndio».

Assim, conclui-se que a compartimentação de espaços em edifícios deve criar barreiras físicas eficazes que impeçam ou retardem significativamente a propagação do incêndio, entre diferentes zonas do edifício, proporcionando tempo suficiente para a evacuação dos ocupantes e a intervenção dos meios de apoio. Por isso, em regra, nos espaços cobertos, os diversos pisos devem constituir compartimentos corta-fogo diferentes.

### **2.2.2 Critérios de classificação**

Entre outros aspetos, realça-se que os requisitos de compartimentação corta-fogo dependem da utilização-tipo (UT) do edifício, da categoria de risco da UT e dos locais de risco presentes no edifício. Estes parâmetros são apresentados nos próximos tópicos.

#### **2.2.2.1 Utilização-tipo**

A Utilização-tipo é a classificação dada pelo uso dominante de qualquer edifício ou recinto, ou de cada uma das suas partes (Lei n.º 123/2019)

Aos edifícios e recintos podem corresponder as seguintes utilizações-tipo (Lei n.º 123/2019):

- Tipo I - Habitacionais: edifícios ou partes destinadas a habitação unifamiliar ou multifamiliar,

incluindo acessos comuns e áreas não residenciais de uso exclusivo dos residentes.;

- Tipo II - Estacionamentos: edifícios, partes de edifícios ou recintos ao ar livre destinados exclusivamente à recolha de veículos e reboques, fora da via pública;
- Tipo III - Administrativos: edifícios ou partes destinadas a atividades administrativas, de atendimento ao público ou de serviços, como escritórios, repartições públicas, tribunais, conservatórias, balcões de atendimento, notários, gabinetes de profissionais liberais, espaços de investigação não ligados ao ensino e postos de forças de segurança e socorro, excluindo oficinas de reparação e manutenção;
- Tipo IV - Escolares: edifícios ou partes que recebam público para ações de educação, ensino, formação ou atividades lúdicas e educativas para crianças e jovens, podendo incluir espaços de repouso ou dormida, como escolas de todos os níveis, creches, jardins-de-infância, centros de formação, de ocupação de tempos livres e centros de juventude;
- Tipo V - Hospitalares e lares de idosos: edifícios ou partes destinadas a diagnóstico, cuidados de saúde com ou sem internamento, apoio a pessoas idosas ou com limitações físicas ou psíquicas, ou a atividades dedicadas a essas pessoas, como hospitais, clínicas, consultórios, policlínicas, centros de saúde, de diagnóstico, de enfermagem, de hemodiálise ou de fisioterapia, laboratórios de análises clínicas, lares, albergues, residências, centros de abrigo e centros de dia para a terceira idade;
- Tipo VI - Espetáculos e reuniões públicas: edifícios, partes de edifícios, recintos itinerantes, provisórios ou ao ar livre destinados a espetáculos, reuniões públicas, exposições audiovisuais, bailes, jogos, conferências, palestras, culto religioso e exposições, podendo ser polivalentes e não permanentes, como teatros, cineteatros, cinemas, coliseus, praças de touros, circos, salas de jogo, salões de dança, discotecas, bares com música ao vivo, estúdios, auditórios, salas de conferências, templos religiosos, pavilhões multiúso e locais de exposições não incluídos na utilização-tipo X;
- Tipo VII - Hoteleiros e restauração: edifícios ou partes que recebam público, fornecendo alojamento temporário ou exercendo atividades de restauração e bebidas, em regime de ocupação exclusiva ou não, como empreendimentos turísticos, alojamento local (quando aplicável), restaurantes, bares, dormitórios, residências de estudantes não inseridas em escolas e colónias de férias, excluindo parques de campismo e caravanismo, classificados na utilização-tipo IX;
- Tipo VIII - Comerciais e gares de transportes: edifícios ou partes ocupadas por estabelecimentos comerciais de exposição e venda de bens para consumo no exterior, ou por gares de acesso a

transportes rodoviários, ferroviários, marítimos, fluviais ou aéreos, incluindo gares intermodais como ligação entre a via pública e esses meios, excluindo plataformas de embarque ao ar livre;

- Tipo IX - Desportivos e de lazer: edifícios, partes de edifícios ou recintos, com ou sem público, destinados a atividades desportivas e de lazer, como estádios, picadeiros, hipódromos, velódromos, autódromos, motódromos, kartódromos, campos de jogos, parques de campismo e caravanismo, pavilhões desportivos, piscinas, parques aquáticos, pistas de patinagem, ginásios e saunas;
- Tipo X - Museus e galerias de arte: edifícios ou partes de edifícios, recebendo ou não público, destinados à exibição de peças do património histórico e cultural ou a atividades de exibição, demonstração e divulgação de carácter científico, cultural ou técnico, nomeadamente museus, galerias de arte, oceanários, aquários, instalações de parques zoológicos ou botânicos, espaços de exposição destinados à divulgação científica e técnica, desde que não se enquadrem nas utilizações-tipo VI e IX;
- Tipo XI - Bibliotecas e arquivos: edifícios ou partes de edifícios, recebendo ou não público, destinados a arquivo documental, podendo disponibilizar os documentos para consulta ou visualização no próprio local ou não, nomeadamente bibliotecas, mediatecas e arquivos;
- Tipo XII - Industriais, oficinas e armazéns: edifícios, partes de edifícios ou recintos ao ar livre, não recebendo habitualmente público, destinados a atividades industriais ou ao armazenamento de materiais, substâncias, produtos ou equipamentos, oficinas de reparação e todos os serviços auxiliares ou complementares destas atividades;

O edifício pode ser de utilização exclusiva (uma única UT no edifício) ou mista (várias UT no mesmo edifício/recinto), sendo obrigatório cumprir as condições técnicas gerais e específicas aplicáveis a cada UT identificada no mesmo edifício ou recinto. Note-se que, classificação só é efetivamente considerada mista, se as seguintes disposições forem ultrapassadas:

- Atividades administrativas, arquivo e armazenamento necessários ao funcionamento das UT III a XII, geridos pela mesma entidade, sem acesso habitual ao público, com área bruta até 10% (UT III a VII, IX e XI) ou até 20% (UT VIII, X e XII) da área bruta da UT onde se inserem;
- Espaços de reunião, culto, conferências/palestras, formação, desporto/lazer e restauração/bebidas, geridos pela entidade da UT III a XII, com efetivo até 200 pessoas em edifícios ou até 1000 ao ar livre;
- Espaços comerciais, oficinas, bibliotecas, exposições e postos médicos/socorros/enfermagem, geridos pela entidade da UT III a XII, com área bruta até 200 m<sup>2</sup>;

Tal como abordado, em caso de algumas destas condições serem excedidas os espaços serão classificados como Utilizações-Tipo distintas.

Neste contexto, a definição de UT condiciona diretamente a compartimentação corta-fogo, uma vez que a legislação portuguesa de SCIE estabelece expressamente que a coexistência num mesmo edifício de espaços ocupados por diferentes utilizações-tipo deve satisfazer condições específicas de isolamento e proteção através de paredes e pavimentos cuja resistência ao fogo padro, EI ou REI, seja a mais gravosa das indicadas na Tabela 1 (Portaria n.o 135/2020).

Tabela 1 - Escalões de tempo da resistência ao fogo de elementos de isolamento e proteção entre UT distintas

Utilizações-tipo	Categorias de risco			
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	4. <sup>a</sup>
I, III, a X .....	30	60	90	120
II, XI e XII .....	60	90	120	180

Esta exigência regulamentar fundamenta-se na necessidade de impedir a propagação do fogo entre utilizações-tipo distintas, sendo que os elementos separadores devem garantir diferentes classes de resistência (30, 60, 90, 120 ou 180 minutos) consoante o tipo e categoria de risco das utilizações em causa (Portaria n.o 135/2020) . Desta forma, cada UT determina não apenas os requisitos de isolamento, mas também os parâmetros técnicos específicos que devem ser expressos no projeto de SCIE.

### 2.2.2.2 Categorias de risco

As Categorias de risco das Utilizações-Tipo são classificadas em quatro níveis de risco de incêndio de qualquer utilização-tipo de um edifício e recinto, atendendo a diversos fatores de risco.

As categorias são consideradas da seguinte forma:

- 1.<sup>a</sup> categoria - Risco Reduzido de incêndio;
- 2.<sup>a</sup> categoria - Risco moderado de incêndio;
- 3.<sup>a</sup> categoria - Risco elevado de incêndio;
- 4.<sup>a</sup> categoria - Risco muito elevado de incêndio;

Os fatores de risco utilizados para a classificação das categorias de risco diferem dependendo da utilização-tipo.

Os fatores de risco utilizados em cada UT (Tabela 2) são os seguintes:

- a) Utilização-tipo I - altura da utilização-tipo e número de pisos abaixo do plano de referência;
- b) Utilização-tipo II - espaço coberto ou ao ar livre, altura da utilização-tipo, número de pisos abaixo do plano de referência e a área bruta;
- c) Utilizações-tipo III e X - altura da utilização-tipo e efetivo;

- d) Utilizações-tipo IV, V e VII - altura da utilização-tipo, efetivo em locais de risco D ou E, e apenas para a 1.ª categoria, saída independente direta ao exterior de locais de risco D, ao nível do plano de referência;
- e) Utilizações-tipo VI e IX - espaço coberto ou ao ar livre, altura da utilização-tipo, número de pisos abaixo do plano de referência e efetivo;
- f) Utilização-tipo VIII - altura da utilização-tipo, número de pisos abaixo do plano de referência e efetivo;
- g) Utilização-tipo XI - altura da utilização-tipo, número de pisos abaixo do plano de referência, efetivo e a densidade de carga de incêndio modificada;
- h) Utilização-tipo XII - espaço coberto ou ao ar livre, número de pisos abaixo do plano de referência e densidade de carga de incêndio modificada.

Tabela 2 - Fatores de risco em cada UT

Utilização Tipo	Altura da UT	Nº de pisos abaixo do plano de referência	Espaço coberto ou ao ar livre	Área Bruta	Efetivo	Efetivo em locais de Risco D ou E	Apenas para a 1º categoria, Saída independente ao exterior de locais de Risco D, ao nível do plano de referência	Densidade de carga de incêndio modificada
I	X	X						
II	X	X	X	X				
III	X				X			
IV	X					X	X	
V	X					X	X	
VI	X	X	X		X			
VII	X					X	X	
VIII	X	X			X			
IX	X	X	X		X			
X	X				X			
XI	X	X			X			X
XII		X	X					X

A categoria atribuída a cada Utilização-tipo é a mais alta que satisfaça integralmente todos os critérios dos quadros no Anexo III da Lei n.º 123/2019, como se pode verificar no Anexo I deste documento.

A diferente categoria de risco condiciona diretamente as exigências de compartimentação corta-fogo e com elas a resistência ao fogo, controlo de fumos, evacuação e medidas de autoproteção aplicáveis à cada UT. Em edifícios de utilização mista, aplicam-se aos espaços e vias comuns as exigências mais gravosas entre as UT presentes, podendo partilhar sistemas e equipamentos de SCIE, sem prejuízo do isolamento entre utilizações-tipo distintas conforme a sua categoria de risco e fatores associados.

### 2.2.2.3 Local de Risco

O Local de risco é qualquer área de um edifício ou recinto, classificada em função da natureza do risco de incêndio, baseada na sua utilização e função.

Todos os locais, com exceção dos espaços interiores de cada fogo, das vias horizontais e verticais de evacuação e dos espaços ao ar livre, são classificados, do seguinte modo:

- Local de Risco A - local que não apresenta riscos especiais, no qual se verifiquem

simultaneamente as seguintes condições:

- i. Efetivo  $\leq 100$  pessoas;
  - ii. Efetivo de público  $\leq 50$  pessoas;
  - iii.  $>90$  % dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme;
  - iv. As atividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio;
- Local de Risco B - local com um efetivo  $> 100$  pessoas ou um efetivo de público  $> 50$  pessoas, no qual se verifiquem simultaneamente as seguintes condições:
    - i.  $>90$  % dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme;
    - ii. As atividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio;
  - Local de Risco C - local que apresenta riscos agravados de eclosão e de desenvolvimento de incêndio devido às atividades nele desenvolvidas e 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.
  - Local de Risco C agravado (C+) - Sempre que o local de risco C se encontre numa das seguintes condições:
    - i. Volume  $> 600$  m<sup>3</sup>;
    - ii. Carga de incêndio modificada  $> 20\,000$  MJ;
    - iii. Potência dos seus equipamentos elétricos e eletromecânicos  $> 250$  kW;
    - iv. Equipamentos alimentados a gás  $> 70$  kW;
    - v. Locais de produção, depósito, armazenagem ou manipulação de líquidos inflamáveis em quantidade  $> 100$  L;
  - 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 os centros neurálgicos de comunicação, comando e controlo;

Dependendo da classificação dos espaços em termos dos locais de risco, o isolamento e proteção de cada espaço vai diferenciar na resistência ao fogo das paredes sem função de suporte, pavimentos e

paredes com função de suporte e as portas.

No Artigo 20.º ao Artigo 24.º demonstra as resistências ao fogo mínima dos elementos nos vários locais de risco.

Tabela 3 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco B

Elementos de construção	Resistência ao fogo padrão mínima
Paredes sem função de suporte. . . . .	EI 30
Pavimentos e paredes com função de suporte . . . . .	REI 30
Portas . . . . .	E 15 C

Tabela 4 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco C

Elementos de construção	Resistência ao fogo padrão mínima
Paredes sem função de suporte. . . . .	EI 60
Pavimentos e paredes com função de suporte . . . . .	REI 60
Portas . . . . .	E 30 C

Tabela 5 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco C agravado

Elementos de construção	Resistência ao fogo padrão mínima
Paredes sem função de suporte. . . . .	EI 90
Pavimentos e paredes com função de suporte . . . . .	REI 90
Portas . . . . .	E 45 C

Tabela 6 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco D

Elementos de construção	Resistência ao fogo padrão mínima
Paredes sem função de suporte. . . . .	EI 60
Pavimentos e paredes com função de suporte . . . . .	REI 60
Portas . . . . .	E 30 C

Tabela 7 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco E

Elementos de construção	Resistência ao fogo padrão mínima
Paredes sem função de suporte. . . . .	EI 30
Pavimentos e paredes com função de suporte . . . . .	REI 30
Portas . . . . .	E 15 C

Tabela 8 - Resistência ao fogo padrão mínima dos elementos da envolvente de locais de risco F

Elementos de construção	Resistência ao fogo padrão mínima
Paredes sem função de suporte. . . . .	EI 90
Pavimentos e paredes com função de suporte . . . . .	REI 90
Portas . . . . .	E 45 C

### 2.2.3 Áreas máximas dos Compartimentos

Após o estudo dos vários critérios de classificação de edifícios, recintos ou espaços, presentes no regime jurídico de SCIE foi possível compreender o método de obtenção das áreas máximas de compartimentação corta-fogo.

A área máxima é obtida a partir da Utilização-Tipo, dos locais de risco e das categorias de risco das UT, que estão presentes em cada compartimento. Note-se ainda, que a área bruta é a convecção utilizada quando se discute as áreas máximas dos compartimentos corta-fogo.

Na Tabela 9 são identificadas as áreas máximas para cada UT:

Tabela 9 - Áreas máximas de compartimentação geral corta-fogo

Utilizações-tipo	Áreas máximas de compartimento corta-fogo por piso	Observações
I, III, VI, VII, VIII, IX e X . . . . .	1 600 m <sup>2</sup>	
II . . . . .	6 400 m <sup>2</sup>	Acima ou no plano de referência.
	3 200 m <sup>2</sup>	Abaixo do plano de referência.
IV e V (exceto pisos com locais de risco D)	1 600 m <sup>2</sup>	
IV e V (pisos com locais de risco D). . . . .	800 m <sup>2</sup>	
XI . . . . .	800 m <sup>2</sup>	Acima ou no plano de referência.
	400 m <sup>2</sup>	Abaixo do plano de referência.
XII . . . . .	As estabelecidas no artigo 302.º	

Note-se que para as Utilizações-tipo XII, as áreas máximas são determinadas pelo Artigo 302.º da Portaria 135/2019, como se pode observar na Tabela 10:

Tabela 10 - Áreas máximas de compartimentação geral corta-fogo da utilização -tipo XII

Casos	Localização relativamente ao plano de referência	Categorias de risco da UT XII			
		1.ª	2.ª	3.ª	4.ª
I . . . . .	Acima . . . . .	1 600 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	
	Abaixo . . . . .	Não aplicável	400 m <sup>2</sup>		
II . . . . .	Acima . . . . .	6 400 m <sup>2</sup>	2 400 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
	Abaixo . . . . .	Não aplicável	800 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	
III . . . . .	Acima . . . . .	12 800 m <sup>2</sup>	4 800 m <sup>2</sup>	2 400 m <sup>2</sup>	1 200 m <sup>2</sup>
	Abaixo . . . . .	Não aplicável	2 400 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
IV . . . . .	Acima . . . . .	Sem limite			

Os casos referentes na Tabela 10 são os seguintes:

- Caso I - corresponde a um edifício em que a utilização-tipo XII coexiste com outras utilizações-tipo;
- Caso II - corresponde a um edifício exclusivamente afeto à utilização-tipo XII que possua parede de empena comum a outros edifícios com espaços de habitação ou de estabelecimentos que recebem público;
- Caso III - corresponde a um edifício exclusivamente afeto à utilização-tipo XII que, podendo possuir empena comum a outros edifícios também exclusivamente afetos à mesma utilização;
- Caso IV - corresponde a um edifício isolado exclusivamente afeto à utilização -tipo XII, sem pisos abaixo do plano de referência.

### **2.2.3.1 Exceções e Restrições da Compartimentação corta-fogo**

O artigo 18.º da Portaria 135/2020 estabelece ainda um conjunto de exceções e restrições da compartimentação corta-fogo, permitindo flexibilidade em situações específicas sem comprometer a segurança contra incêndios. Estas disposições são situações particulares de utilizações-tipo, possibilitam soluções técnicas adequadas às características específicas de cada edifício.

A primeira exceção relevante refere-se aos espaços afetos à utilização-tipo I da 1.ª categoria de risco, que ficam isentos de constituírem compartimentos corta-fogo diferentes em cada piso, reconhecendo o reduzido risco de incêndio associado a habitações unifamiliares e pequenos edifícios habitacionais, permitindo maior liberdade na conceção arquitetónica destes espaços.

Nas utilizações-tipo III, VII e VIII, bem como nas utilizações-tipo IV e V, quando os locais de risco D se situam apenas no piso do plano de referência, em edifícios de pequena altura (altura < 9 metros), admite-se que três pisos possam constituir um único compartimento corta-fogo. Porém, esses compartimentos têm de seguir os seguintes critérios: a área útil total dos três pisos não pode ultrapassar os valores máximos da Tabela 9, nenhum piso pode exceder 800 m<sup>2</sup>, e que não se situe mais que um piso abaixo do plano de referência.

O artigo prevê também a possibilidade de ampliação das áreas máximas de compartimento corta-fogo mediante justificação fundamentada, desde que sejam protegidas por sistema de controlo de fumo e garantam uma altura livre de fumo não inferior a 4 metros nos espaços amplos cobertos afetos às utilizações-tipo VIII (exclusivamente os centros comerciais), VI, IX e X. Esta medida permite flexibilidade em grandes espaços comerciais e de espetáculos, mantendo condições adequadas de evacuação e segurança contra incêndios para todos os utilizadores.

Existe ainda a dispensa de elementos fixos resistentes ao fogo para proteção de interligações entre pisos sobrepostos através de rampas, escadas rolantes, pátio interior coberto aberto ou qualquer outro acesso que não constitua via de evacuação. Esta exceção está sujeita as seguintes condições rigorosas: os compartimentos por piso não podem ultrapassar as áreas máximas da Tabela 9, não podem existir fogos de habitação nem locais de risco D ou E nesses pisos, e o controlo de fumo deve ser obrigatoriamente efetuado por hierarquia de pressões.

Além do referido, as áreas máximas dos compartimentos corta-fogo podem ser duplicadas quando os edifícios ou estabelecimentos são protegidos por rede de extinção automática de incêndio por água com cobertura total. Esta exceção aplica-se a todas as utilizações-tipo, exceto a espaços afetos à utilização-tipo I e locais de risco D, reconhecendo a eficácia dos sistemas sprinklers como medida compensatória para o aumento das dimensões dos compartimentos.

Estas exceções e restrições refletem uma abordagem equilibrada do regulamento, que procura conciliar a flexibilidade necessária ao desenvolvimento de projetos de arquitetura inovadores com a manutenção de níveis adequados de segurança contra incêndios em edifícios.

## **2.3 Identificação de variáveis críticas**

Após análise detalhada da regulamentação portuguesa foi possível identificar as variáveis consideradas determinantes para a definição da compartimentação corta-fogo, ver Tabela 2. Estas variáveis resultam diretamente da análise do enquadramento regulamentar de SCIE e refletem os aspetos que condicionam as exigências aplicáveis a cada edifício/recinto. A sua seleção garante que a informação essencial esteja claramente definida e pronta a ser traduzida em parâmetros digitais.

As variáveis críticas para a compartimentação corta-fogo são:

- Utilização-Tipo;
- Locais de risco;
- Categoria de Risco da Utilização-tipo;
- Altura da Utilização-tipo;
- Nº de pisos abaixo do plano de referência;
- Área bruta;
- Se é um espaço coberto ou ao ar livre;
- Efetivo;
- Efetivo em locais de Risco D ou E;

- Densidade de carga de incêndio modificada;

A definição destas variáveis constitui a ponte entre a análise regulamentar e a etapa seguinte do trabalho, assegurando que o modelo contém a informação necessária.

# 3 Implementação de conceitos de SCIE em modelos BIM

## 3.1 Enquadramento

No âmbito do estágio, após o estudo do enquadramento regulamentar da SCIE e das exigências regulamentares aplicáveis à compartimentação corta-fogo, deu-se início à fase de aplicação prática desses princípios em ambiente BIM. Adotou-se o software *Autodesk Revit*, como representado na (Figura 9), para a implementação prática dos conceitos de SCIE em modelos BIM.

O objetivo geral passa por integrar informações paramétricas provenientes dos regulamentos para, posteriormente, realizar verificações automáticas da conformidade. Note-se que outros parceiros participantes no projeto I&D FireBIM utilizam outros *softwares*, como o *ArchiCAD*, e, por essa razão, o uso de formatos abertos como o IFC e as metodologias *openBIM* revelam-se de máxima importância para o projeto. Salienta-se ainda que embora existisse alguma familiaridade prévia com o *software*, adquirida durante a formação académica, o conhecimento encontrava-se disperso após um período sem utilização.



Figura 9 - Autodesk Revit

Inicialmente, as horas do estágio foram integralmente dedicadas ao processo de reaprendizagem e consolidação dos conhecimentos fundamentais do *Autodesk Revit*. Este período focou-se principalmente na revisão das funcionalidades básicas necessárias para a criação de um projeto, incluindo, como exemplo, a criação e manipulação de elementos de arquitetura, a gestão de parâmetros e a organização de vistas.

Este período revelou-se essencial, não apenas para relembrar os comandos e interfaces do *software*,

mas sobretudo para compreender as potencialidades do *Autodesk Revit* no contexto específico da SCIE. Durante este período inicial registaram-se dificuldades típicas reaprendizagem, como a procura de certos comandos no *ribbon* do *Revit*, e foi ainda necessário recordar processos, como a edição de famílias de componentes, aplicação de restrições dimensionais, entre outros.

Com a finalidade de consolidar os conhecimentos e testar as abordagens aprendidas, procedeu-se à criação de um projeto habitacional simples, que foi posteriormente usado como modelo de testes.

### 3.2 Apresentação do caso de estudo

A escolha como caso de estudo recaiu sobre um edifício habitacional de dois pisos. Optou-se por este tipo de edificado por causa da sua representatividade do parque imobiliário no contexto nacional e na adequação à etapa preliminar de desenvolvimento do projeto, permitindo focar nos aspetos fundamentais da compartimentação corta-fogo, sem introduzir dificuldades excessivas com a geometria.

O modelo de teste foi concebido utilizando um *template* utilizado anteriormente na etapa académica. Esta abordagem permitiu concentrar os esforços na compreensão dos princípios de modelação paramétrica aplicados à SCIE, sem as limitações que projetos mais complexos poderiam impor nesta fase.

Como visível na Figura 10, encontra-se a planta do Piso 0, com as divisões legendadas e as dimensões documentadas.

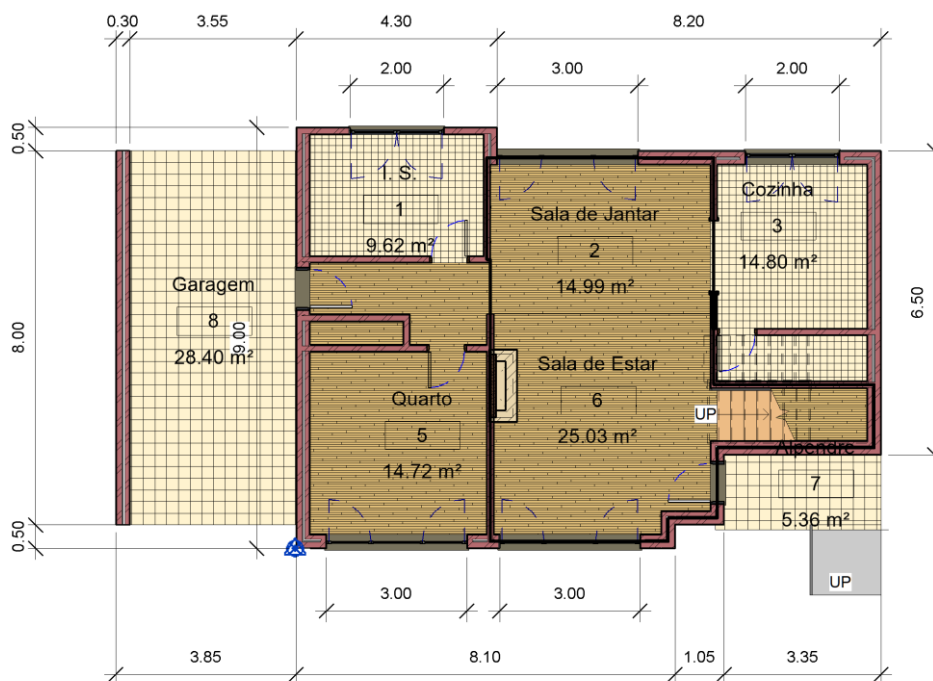


Figura 10 - Planta do Piso 0 do caso de estudo

Na Figura 11, encontra-se a planta do Piso 1 com as divisões legendadas e as dimensões documentadas.

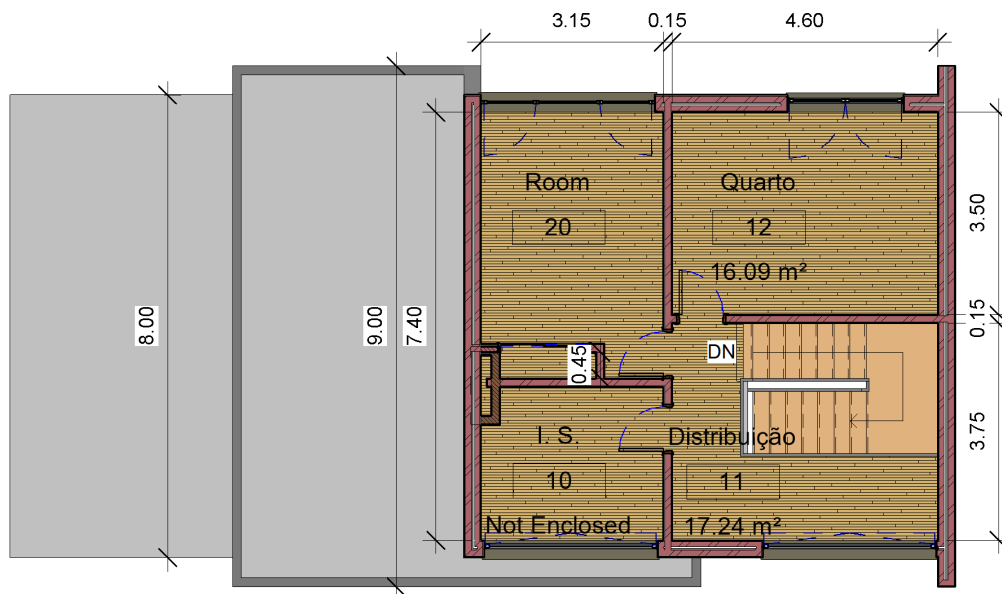


Figura 11 - Planta do Piso 1 do caso de estudo

Na Figura 12, ilustra-se a visão 3D do projeto de testes, onde se observa a arquitetura da habitação.



Figura 12 - Visão 3d do caso de estudo

Na Figura 13, encontra-se um alçado vertical do projeto de testes, onde se visualiza várias divisões do edifício.

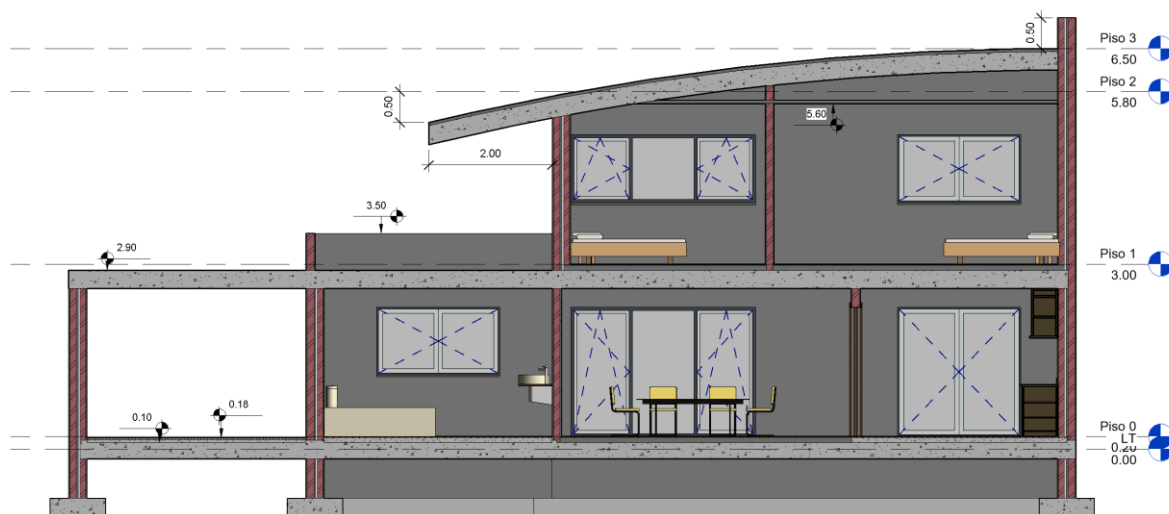


Figura 13 - Alçado vertical do caso de estudo

A criação do projeto de teste serviu como meio para explorar diferentes abordagens de representação das compartimentações corta-fogo, já que através da modelação do edifício habitacional, foi possível compreender como os elementos construtivos (paredes, pavimentos, portas) se relacionam com os conceitos regulamentares de compartimentação e como esta informação pode ser estruturada e gerida no ambiente BIM.

Note-se que, o modelo de habitação usado para este estudo enquadra-se na UT I de 1ª categoria de risco, conforme os critérios já estabelecidos no Capítulo 2.2.2. Neste contexto, não existe obrigatoriedade regulamentar de criação de qualquer compartimentação corta-fogo e adicionalmente a garagem integrada no modelo, com área inferior a 200m<sup>2</sup>, não constitui uma UT II independente, mas sim um espaço de estacionamento privado integrado na UT I, em conformidade com as disposições do n.º 3 do artigo 8º da Lei 123/2019, que exclui os estacionamentos individuais em edifícios habitacionais desta classificação. A utilização de um caso de estudo simples facilita a compreensão dos conceitos fundamentais de criação e definição de espaços no contexto SCIE, permitindo aos utilizadores concentrarem-se no domínio das ferramentas de modelação dos espaços.

O conhecimento consolidado nesta primeira etapa estabeleceu as bases, quer para o posterior desenvolvimento iterativo das soluções, quer para a compreensão clara das potencialidades e das limitações do *software*.

A transição para a etapa seguinte, descrita no Capítulo 3.3, favoreceu diretamente com esta preparação inicial, permitindo uma abordagem mais estruturada e eficiente no desenvolvimento das soluções de compartimentação.

### 3.3 Criação dos compartimentos corta-fogo no Autodesk Revit

Após a consolidação dos conhecimentos fundamentais em *Autodesk Revit* e a criação do projeto de teste, iniciou-se a fase de investigação para determinar a melhor metodologia de representação dos compartimentos corta-fogo no modelo. Esta fase revelou-se de dificuldade considerável, exigindo uma abordagem rigorosa para avaliar as diferentes ferramentas disponíveis no *software* e as suas implicações no fluxo de trabalho já existente dos técnicos e engenheiros de SCIE.

A decisão da ferramenta adequada para a criação de compartimentos corta-fogo constitui uma decisão fundamental que condiciona todo o desenvolvimento do projeto. Esta decisão deve considerar não apenas as capacidades de cada ferramenta, mas também a sua incorporação com os processos já existentes, a facilidade de utilização pelos profissionais e a compatibilidade com os padrões de interoperabilidade que o projeto FireBIM pretende alcançar.

#### 3.3.1 Metodologia de avaliação

O processo de seleção da ferramenta mais adequada foi organizado através de uma metodologia iterativa, onde cada ferramenta disponível foi testada e avaliada segundo critérios específicos. Esta abordagem permitiu uma comparação objetiva entre as diferentes soluções e garantiu que a escolha final fosse fundamentada em evidências práticas e não apenas em considerações teóricas.

Os critérios de avaliação mais importantes incluíram:

- **Facilidade de utilização** - Aprendizagem necessária para dominar a ferramenta, considerando o nível de conhecimento típico dos técnicos de SCIE e a integração natural com o fluxo de trabalho existente no *Revit*;
- **Capacidade paramétrica** - Possibilidade de incorporar informações específicas de SCIE, como área bruta dos compartimentos, utilização-tipo, classificação de locais de risco, e outros parâmetros críticos identificados na fase de análise regulamentar;
- **Sobreposições espaciais** - Capacidade de criar espaços que se sobrepõem parcialmente ou totalmente, situação comum em projetos reais onde a mesma ferramenta é usada para diferentes partes do projeto;
- **Compatibilidade com IFC** - Processo de exportação para formato IFC, garantindo a interoperabilidade com outros softwares BIM;
- **Impacto no *workflow* existente** - Alterações nos processos de trabalho dos técnicos, reduzindo a perturbação das práticas correntes e maximizando a aceitação pela comunidade profissional.

### 3.3.1.1 Iteração 1: Room Tool

A primeira ferramenta avaliada foi o *Room*, uma funcionalidade nativa do *Autodesk Revit* amplamente utilizada pelos arquitetos para a definição e gestão de espaços de arquitetura. Esta ferramenta permite a criação de delimitações espaciais que se adaptam automaticamente às geometrias delimitadas por paredes, pavimentos e outros elementos construtivos.

A localização da Room Tool no *ribbon* do *Autodesk Revit* pode ser observada na Figura 14.

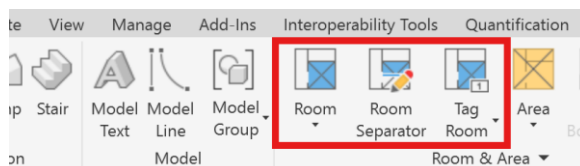


Figura 14 - Localização da ferramenta *Room*

A *Room Tool* demonstrou facilidade de utilização, beneficiando de uma interface intuitiva. A criação de *rooms* é um processo direto que requer apenas a colocação do elemento espacial numa área delimitada por *room boundaries*, sendo automaticamente calculada a área e outras propriedades geométricas.

Na Figura 15 é demonstrado como criar os *rooms* e em que zona da *ribbon* esse se situa.

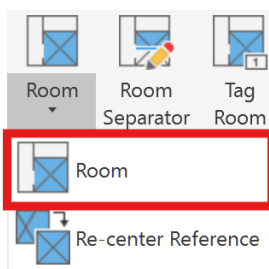


Figura 15 - Ferramenta para criação de *Rooms*

Após a seleção da ferramenta é apenas necessário colocar o rato sobre a divisão que se pretende, sendo as paredes tomadas com *boundaries* e com isto automaticamente é concretizada a limitação geométrica do *Room* desejado (Figura 16).

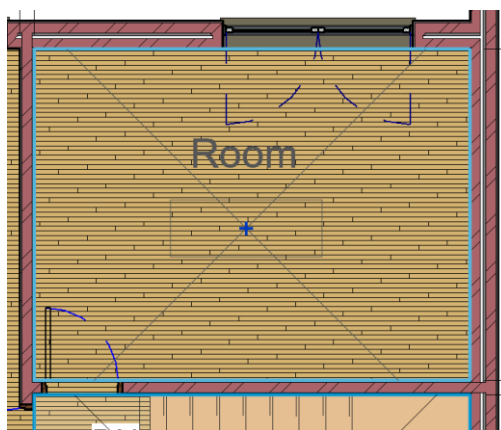


Figura 16 - Colocação geométrica do *Room*

Note-se que, em situações em que o compartimento pretendido não se encontra totalmente delimitado pelas paredes das divisões, é possível ajustar manualmente as respetivas demarcações. Na Figura 17 apresenta-se a ferramenta de ajuste de demarcações e a sua localização na *ribbon* do *Autodesk Revit*. Por sua vez, a Figura 18 ilustra as diversas ferramentas de desenho disponíveis no software, permitindo, por exemplo, a criação de linhas retas, curvas, circulares ou alinhadas com as paredes existentes.

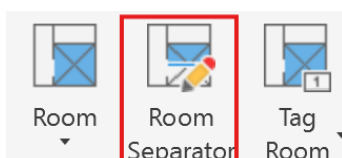


Figura 17 - Ferramenta de ajuste de demarcações da *Room tool*

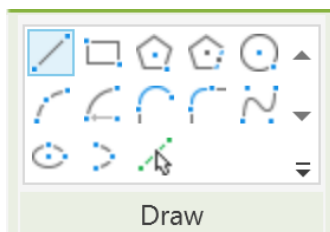


Figura 18 - Diferentes ferramentas de desenho disponíveis no *Autodesk Revit* para o ajuste de delimitações

Em termos de capacidade paramétrica, a ferramenta demonstrou um potencial significativo, possibilitando a introdução de parâmetros IFC, como parâmetros personalizados, de forma a incorporar informações específicas de SCIE. Estes parâmetros acrescentam-se aos dados recolhido automaticamente pelo *software*, como a área, altura, volume, perímetro, conforme ilustrado na Figura 19.

Constraints	
Level	Piso 1
Upper Limit	Piso 1
Limit Offset	2.4384
Base Offset	0.0000
Dimensions	
Area	16.091 m <sup>2</sup>
Perimeter	16.1950
Unbounded Height	2.4384
Volume	39.237 m <sup>3</sup>
Computation Height	2.8000

Figura 19 - Alguns dos parâmetros disponíveis nas propriedades

No entanto, surgiram limitações durante o processo ilustrado. De facto, a impossibilidade de criar *rooms* sobrepostos revelou-se uma restrição, uma vez que os a ferramenta *Room* é utilizadas para outras tarefas no projeto desenvolvido em *Autodesk Revit*, nomeadamente, pelos arquitetos para definirem espaços (ex.: Quartos, WC's, Cozinhas, etc). Desta forma, conclui-se que é impossível definir compartimentos corta-fogo onde já se encontram *rooms* previamente criados.

### 3.3.1.2 Iteração 2: Spaces & Zones

A segunda iteração explorou o *Spaces & Zones Tool*, uma ferramenta MEP destinada essencialmente à criação de espaços e zonas para AVAC, podendo, contudo, ser útil em outras situações. Esta ferramenta permite agrupar múltiplos espaços numa única zona, oferecendo uma abordagem hierárquica à gestão espacial.

A localização da *Spaces & Zones Tool* no *ribbon* do *Autodesk Revit* pode ser observada na Figura 20.

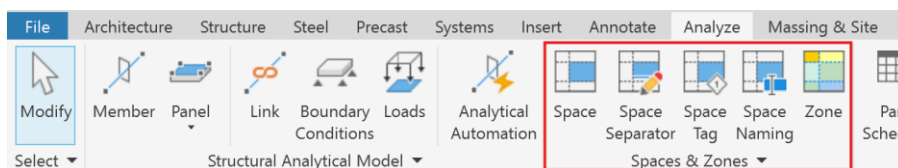


Figura 20 - Localização da *Spaces & Zones Tool*

A *Space Tool*, embora pertença originalmente ao módulo MEP do Autodesk Revit, apresenta uma lógica de funcionamento muito idêntica à *Room Tool*, no que diz respeito à criação de espaços no modelo. Tal como sucede com a *Room Tool*, o utilizador pode posicionar um elemento *space* diretamente numa área delimitada pelas paredes, pavimentos ou outros elementos construtivos, reconhecendo assim os limites definidos no projeto, ilustrado na Figura 21.

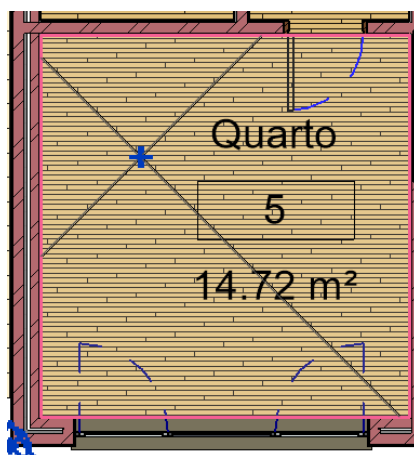


Figura 21 - Posicionamento da *Space Tool* numa divisão

A interface e o procedimento de colocação são igualmente intuitivos, permitindo ao utilizador definir facilmente os espaços, quer através de seleção automática de áreas fechadas, quer pelo ajustamento manual das delimitações, quando necessário. Em adição, conforme se pode observar na Figura 21, foi possível colocar a *Space Tool* numa divisão onde já existia previamente um *room* criado com a ferramenta *Room*, mostrando a possibilidade de sobreposição entre estas duas ferramentas no mesmo espaço físico.

Reconhece-se que a sobreposição do uso da *Space Tool* poder originar conflitos com a equipa responsável pela definição dos sistemas de AVAC, uma vez que utiliza os *spaces* para cálculos de cargas térmicas e ventilação.

A ferramenta *Zones* (Figura 22), revelou flexibilidade na criação de agrupamentos de *Spaces*, permitindo a criação de compartimentos que abrangem múltiplos espaços de arquitetura, como ilustrado na Figura 23. Esta funcionalidade é compatível com a necessidade da criação de compartimentos corta-fogo, uma vez que podem incluir várias divisões ou pisos (conforme Capítulo 2.2.3.1).

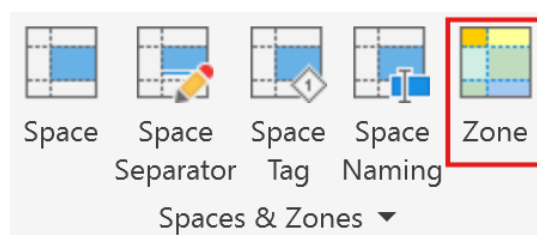


Figura 22 - Ferramenta *Zone* no Autodesk Revit

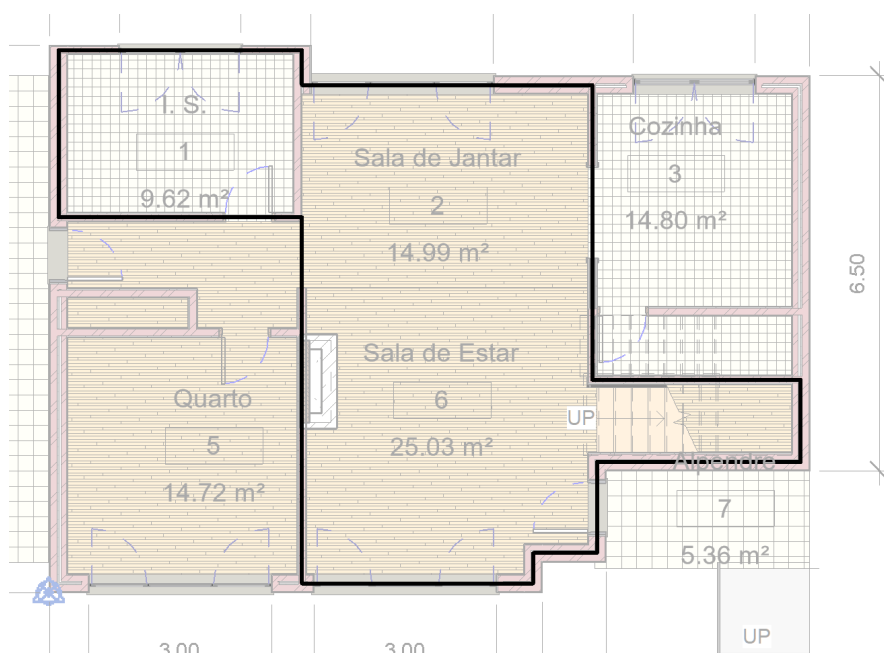


Figura 23 - Agrupamento de 3 espaços pela ferramenta *Zone*

No entanto, com uso combinado das ferramentas *Spaces & Zones* no *Revit*, verificou-se que, apesar de ser possível adicionar espaços (*Spaces*) para fins de compartimentação, a criação de zonas (*Zones*) não incorpora no seu cálculo para a área as áreas das paredes interiores, e por isso não reflete a área bruta, parâmetro necessário para a compartimentação corta-fogo. Verificou-se que ao serem ajustadas as definições do esquema de áreas e volumes, nomeadamente escolhendo a opção "Núcleo da parede" (*Core of wall*), o software passa a contabilizar a área pela zona de núcleo das paredes, porém esta abordagem aplica-se indiscriminadamente a todas as paredes, incluindo as exteriores, o que altera o resultado pretendido.

### 3.3.1.3 Iteração 3: *Area Tool*

A ferramenta *Area*, ilustrada na Figura 24, demonstrou flexibilidade na criação de compartimentos com geometrias simples e complexas, incluindo a possibilidade de criação de várias áreas sobrepostas usando a funcionalidade *Area Schemes*, exclusiva a esta ferramenta. Esta capacidade revelou-se fundamental para representar situações reais onde a mesma ferramenta pode ser utilizada para diferentes finalidades, como abordado anteriormente.

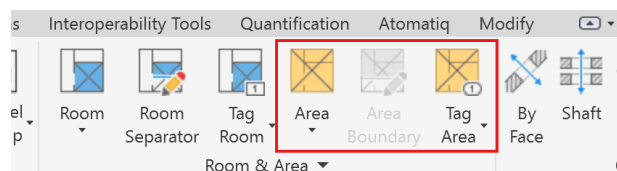


Figura 24 - Posição da ferramenta *Area* na *ribbon* do *Autodesk Revit*

A facilidade de criação e modificação das áreas mostrou-se superior às alternativas testadas, permitindo ajustes rápidos em resposta a alterações do projeto de arquitetura ou a refinamentos dos requisitos de SCIE. Note-se que é possível definir múltiplas classificações de áreas no *Revit*, como *Rentable* e *Gross Building*, estando estas disponíveis por defeito, como se pode observar na Figura 27.

Na Figura 25, Figura 26 e Figura 27 ilustra-se a posição no *Autodesk Revit* dos *Area Schemes*:

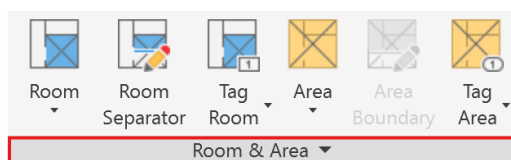


Figura 25 - Localização das propriedades da ferramenta *Area*

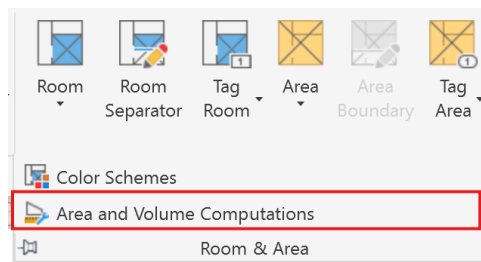


Figura 26 - Propriedades geométricas da ferramenta *Area*

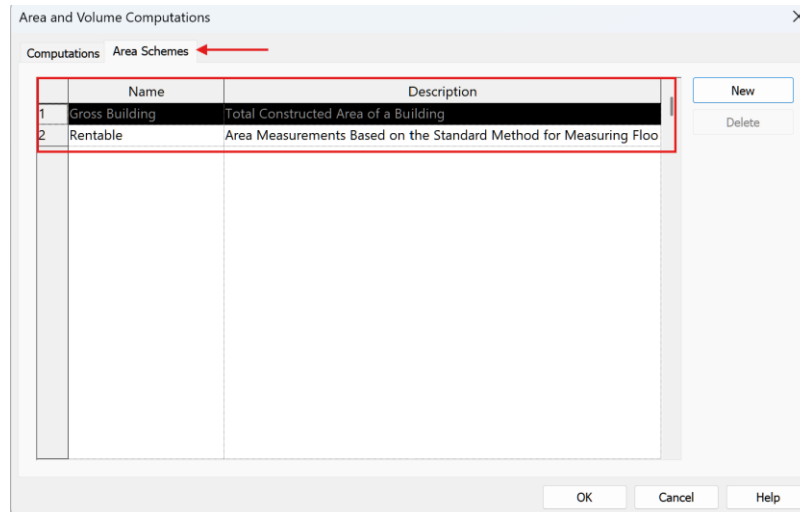


Figura 27 - Localização das *Area Schemes* no Autodesk Revit

Como já referido, é possível a criação de esquemas de áreas personalizadas, como áreas alocadas à Compartimentação, podendo estas serem acrescentadas, conforme as necessidades do projeto.

No entanto, as áreas não podem sobrepor-se dentro do mesmo esquema, cada esquema de classificação requer áreas próprias, que podem cobrir zonas idênticas de modelo, e assim mantem-se a segregação lógica entre elas.

Para a criação dos novos esquemas de áreas, é necessário, em primeiro lugar, gerar no *Design Options* um novo *Option Set* (Figura 28 e Figura 29).

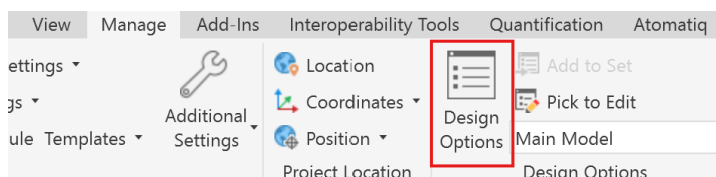


Figura 28 - Localização da ferramenta *Design Options* no ribbon do Autodesk Revit

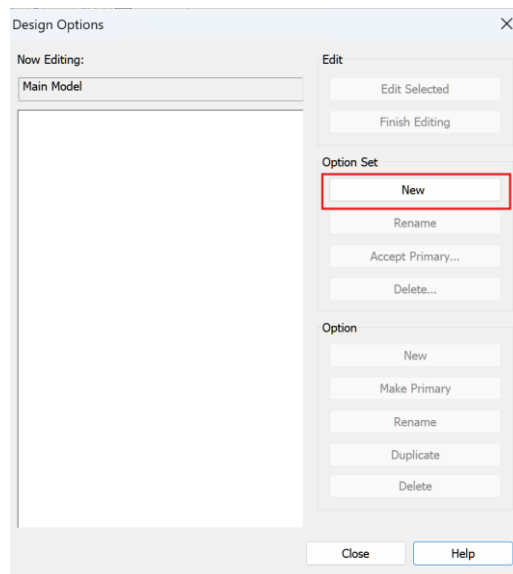


Figura 29 - Criação de um novo *Option Set*

Após a criação do novo *Option Set*, torna-se agora possível definir um novo esquema de áreas, selecionando entre as opções *Rentable area* ou *Gross área* (Figura 30). No caso da compartimentação, deve ser selecionada a opção *Gross area*, uma vez que a determinação da área bruta é necessária.

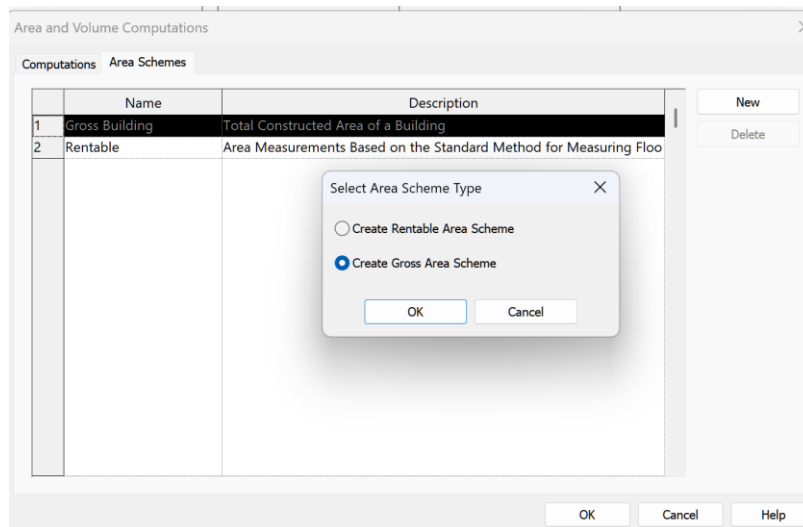


Figura 30 - Seleção do tipo de área desejada

Em termos de capacidade paramétrica, a ferramenta permitiu a incorporação eficaz de todos os parâmetros críticos identificados na fase regulamentar. A ferramenta também se integra no fluxo de trabalho dos técnicos de SCIE sem muito distúrbio, não exigindo conhecimentos especializados ou outros domínios técnicos. A ferramenta utiliza conceitos familiares de área e delimitação espacial que são fundamentais no trabalho de compartimentação.

### 3.3.1.4 Iteração 4: Extensão externa do Autodesk Revit

A quarta iteração envolveu a avaliação da extensão comercial *Roombook, Areabook, and Buildingbook* (Figura 31), desenvolvida para o *Autodesk Revit*. Esta solução procura completar as limitações das ferramentas nativas do software através de funcionalidades especializadas.

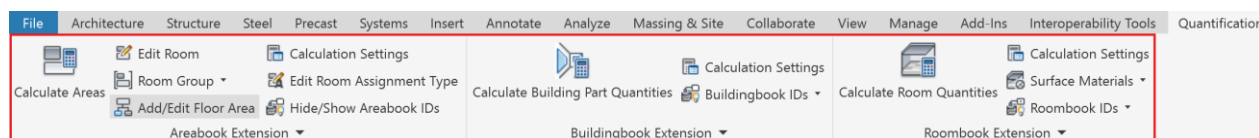


Figura 31 - Extensão *Roombook, Areabook, and Buildingbook*

A extensão *Roombook, Areabook, and Buildingbook* constitui uma solução integrada que combina três extensões adicionais: a *Roombook* calcula superfícies relacionadas com ambientes (paredes, pavimentos, tetos), a *Areabook* determina áreas úteis e brutas por grupos de espaços, e a *Buildingbook* quantifica materiais construtivos.

Uma das principais vantagens identificadas foi a capacidade de realizar um grande número de cálculos simultaneamente, revelando-se particularmente útil na determinação de áreas ou outros cálculos geométricos. Esta funcionalidade representa uma melhoria significativa face aos métodos manuais, permitindo análises complexas de quantificação de materiais e superfícies.

No entanto, a principal limitação identificada durante a avaliação relaciona-se com a dependência estrutural da extensão face à *Room Tool* nativa do *Autodesk Revit*. Uma vez que a extensão *Roombook, Areabook, and Buildingbook* utiliza os *rooms* como base para os seus cálculos, herda automaticamente todas as limitações previamente identificadas na *Room Tool*, nomeadamente a impossibilidade de criar sobreposições entre *rooms*. Esta dependência revelou-se crítica para o seu uso específico na compartimentação corta-fogo, onde a flexibilidade de sobreposição é fundamental. Quando *rooms* já existem no projeto para outras finalidades, torna-se impossível criar compartimentos corta-fogo independentes, limitando significativamente o seu uso na prática no contexto do projeto FireBIM.

### **3.3.2 Metodologia adotada**

Após a avaliação das quatro opções avaliadas, o *Area Tool* (Figura 24), apareceu como a solução mais adequada para a representação de compartimentos corta-fogo no contexto do projeto FireBIM. Esta decisão baseou-se numa análise que considerou os aspetos já definidos, incluindo facilidade de utilização, capacidade paramétrica, gestão de sobreposições espaciais, compatibilidade com exportação IFC e impacto no fluxo existente. Esta metodologia garantiu que a escolha final fosse fundamentada em evidências práticas obtidas através de testes, assegurando que a ferramenta respondesse eficazmente às necessidades específicas dos técnicos de SCIE e aos requisitos do projeto FireBIM.

#### **3.3.2.1 Vantagens da ferramenta *Area***

A flexibilidade geométrica do *Area Tool* revelou-se um aspeto fundamental para a representação adequada da complexidade real dos compartimentos corta-fogo em edifícios. Esta ferramenta permite criar áreas com geometrias irregulares que se podem sobrepor, através do uso de esquemas de área alocado, uma capacidade essencial considerando que os compartimentos corta-fogo frequentemente não coincidem com as divisões de arquitetura. A possibilidade de ajustar as delimitações em resposta a alterações do projeto de arquitetura constituiu uma vantagem face às alternativas avaliadas, permitindo uma adaptação aos requisitos em evolução durante as fases de desenvolvimento do projeto. Esta flexibilidade é particularmente valiosa em projetos complexos onde múltiplos compartimentos podem coexistir no mesmo espaço físico, exigindo uma representação digital que reflita fielmente esta realidade.

O *Area Tool* utiliza conceitos conhecidos de área e delimitação espacial que são fundamentais no trabalho diário de compartimentação corta-fogo, não exigindo conhecimentos especializados. Os processos diretos e a interface familiar com a *Room Tool* alinham-se naturalmente com as práticas profissionais atuais, minimizando a curva de aprendizagem e facilitando a adoção por parte da comunidade técnica. Esta característica é essencial para garantir uma implementação bem-sucedida da metodologia, uma vez que a resistência à mudança por parte dos utilizadores pode comprometer significativamente os objetivos do projeto FireBIM.

#### **3.3.2.2 Limitações reconhecidas**

Apesar das vantagens significativas identificadas, o *Area Tool* apresenta limitações que devem ser consideradas na implementação prática da metodologia. A dificuldade em marcar áreas rapidamente representa um desafio operacional relevante, uma vez que o processo não é automático, na maior parte

das vezes, e exige intervenção manual para cada compartimento. Esta limitação pode tornar-se particularmente complicada em projetos de grande escala com numerosos compartimentos, onde a eficiência operacional é crucial para a viabilidade económica da abordagem. Adicionalmente, a necessidade de criar tabelas de quantificação para exportar as áreas constitui um passo adicional no processo de trabalho, introduzindo complexidade adicional que pode desencorajar a adoção por parte de utilizadores menos experientes em ferramentas Autodesk Revit.

Estas limitações exigem estratégias de mitigação específicas no fluxo de trabalho proposto, incluindo o desenvolvimento de *scripts* em *Dynamo* que facilitem a criação rápida de compartimentos e a automatização parcial.

### **3.4 Dynamo**

Após a avaliação das ferramentas nativas do *Autodesk Revit*, iniciou-se a etapa de desenvolvimento dos algoritmos para criação automática de compartimentos corta-fogo. Esta etapa, representou um dos desafios mais complexos do estágio, exigindo uma abordagem iterativa e metodológica para ultrapassar as limitações técnicas encontradas.

A automatização da compartimentação corta-fogo através do *Dynamo* (Figura 32), visa solucionar uma das tarefas mais morosas e propensas a erro no desenvolvimento de projetos de SCIE. O objetivo central consistiu em desenvolver algoritmos capazes de analisar a geometria dos edifícios, identificar automaticamente os limites espaciais adequados e criar os compartimentos corta-fogo de acordo com os critérios estabelecidos. Este processo envolveu quatro iterações distintas, cada uma explorando diferentes estratégias de análise geométrica e deteção de fronteiras espaciais no ambiente *Revit*.



Figura 32 - Dynamo

### 3.4.1 Introdução ao Dynamo

O Dynamo constitui uma plataforma de programação visual que se integra nativamente no *Autodesk Revit*. Esta ferramenta permite aos utilizadores criar algoritmos complexos através de uma interface gráfica intuitiva, baseada em nós e conectores, eliminando a necessidade de conhecimentos avançados em linguagens de programação tradicionais. O *Dynamo* surge como resposta às limitações dos processos manuais de modelação, oferecendo uma solução que combina a flexibilidade da programação com a acessibilidade do desenho visual (Mathews, 2018).

A integração incorporada do *Dynamo* no *Autodesk Revit* estabelece uma comunicação direta com a *Application Programming Interface* (API) do software, permitindo o acesso completo aos elementos do modelo Revit e às suas propriedades paramétricas. Esta relação bidirecional possibilita não apenas a extração de dados do modelo existente, mas também a criação, modificação e manipulação de elementos construtivos.

A programação visual oferecida pelo *Dynamo* (Figura 33) representa uma evolução face aos métodos tradicionais de automatização, proporcionando múltiplas vantagens no contexto específico da modelação BIM. A principal vantagem reside na eliminação das barreiras técnicas associadas às linguagens de programação convencionais. De facto, a natureza visual da interface do *Dynamo* facilita o acesso à sua programação, tornando-a acessível a engenheiros civis, arquitetos e técnicos de SCIE sem formação específica em programação, aspeto crucial para a implementação eficaz de soluções automatizadas no setor da construção (Verma, 2022) (GRAITEC). Este tipo de programação facilita significativamente a compreensão lógica dos algoritmos desenvolvidos, uma vez que o fluxo de dados se torna visualmente perceptível através das conexões entre nós, esta transparência permite uma identificação de erros mais eficiente. Adicionalmente, a natureza modular da programação visual promove a reutilização de componentes, permitindo que algoritmos desenvolvidos para outros projetos sejam facilmente adaptados e aplicados noutros contextos, maximizando o retorno do investimento no desenvolvimento da automatização.

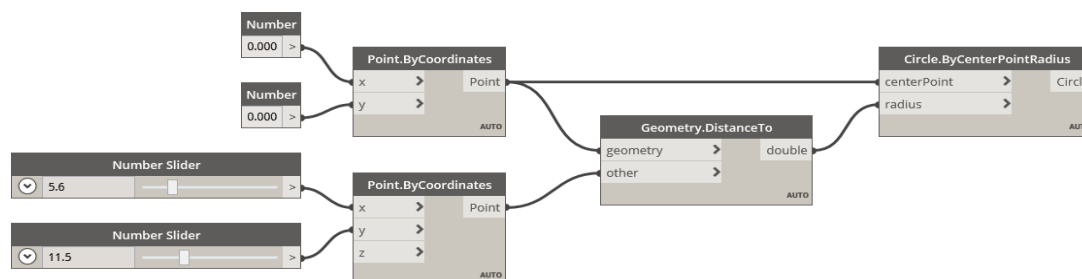


Figura 33 - Exemplo da programação visual no Dynamo

Assim, no contexto específico deste projeto, o *Dynamo* é a ferramenta ideal para a automatização da criação de compartimentos corta-fogo, complementando a escolha prévia que após a análise comparativa das ferramentas nativas do Revit apresentada no Capítulo 3.3.

A automatização através do *Dynamo* permite superar limitações operacionais, desenvolvendo algoritmos que aceleram significativamente o processo de criação de compartimentação. Os *scripts* desenvolvidos podem automatizar tarefas como o reconhecimento automático de limites espaciais, a aplicação de critérios regulamentares de SCIE, a definição automática de parâmetros personalizados e a criação de áreas com propriedades pré-definidas. Esta abordagem não só reduz drasticamente o tempo necessário para definir compartimentos corta-fogo, como também minimiza erros humanos e assegura a consistência na aplicação dos critérios normativos estabelecidos pela regulamentação portuguesa.

### 3.4.2 Metodologia

O processo de desenvolvimento seguiu uma metodologia iterativa rigorosa, onde cada abordagem foi testada, avaliada e refinada com base nos resultados obtidos. Esta estratégia permitiu uma compreensão progressiva das limitações técnicas do *Dynamo* e das complexidades inerentes à análise geométrica de edifícios reais.

O objetivo do desenvolvimento em *Dynamo* foi automatizar a criação de compartimentos de forma a:

- Extrair a geometria envolvente relevante (paredes, lajes e outros limites geométricos) a partir do modelo *Revit*;
- Gerar curvas que definam os perímetros dos compartimentos (respeitando, sempre que possível, os limites anteriormente extraídos);
- Criar elementos com a ferramenta *Area* correspondentes a esses perímetros, com um *Area Scheme* dedicado (por ex. *Compartmentation*);
- Preservar informação paramétrica útil para SCIE.

Ao longo do processo retratado, procurou-se ainda minimizar o impacto no fluxo de trabalho normal de modelação e garantir que a solução fosse reutilizável em outros projetos.

#### 3.4.2.1 Primeira Iteração

O objetivo desta iteração foi primeiramente, extrair as superfícies das paredes e do pavimento para, de seguida, proceder à sua extensão para ambos os lados. Esta etapa visava garantir que as superfícies das paredes cruzassem eficazmente com a superfície do pavimento, assegurando assim uma correta

delimitação das fronteiras físicas do compartimento corta-fogo. É precisamente neste cruzamento que o compartimento é definido, criando uma representação fiel das barreiras físicas.

Com a ideia da primeira iteração detalhada, começou-se a criar o *script* no bloco de nós (Figura 34 e Figura 35), o processo inicia-se da seguinte forma:

- Seleção dos elementos do projeto no *Autodesk Revit*, focando-se especificamente nas categorias das paredes e do pavimento;
- Isolamento dos elementos relevantes para a aplicação dos parâmetros de compartimentação corta-fogo;
- Extração do valor do parâmetro criado especificamente para este efeito, denominado *IfcCompartmentation*;
- Aplicação de valores booleanos (*True/False*) associados às paredes e ao pavimento selecionados.

Após esta extração, procede-se ao filtro de apenas os elementos cujo parâmetro *IfcCompartmentation* tenha o valor verdadeiro, ou seja, aqueles elementos efetivamente designados para pertencerem a compartimentos corta-fogo. Para isso, recorre-se a nós para efetuar a seleção e o filtro baseando-se no valor do parâmetro.

Com o uso do nó específico do *add-ons GeniusLoci*, extraem-se as superfícies interiores das paredes e a superfície superior do pavimento (Figura 36).

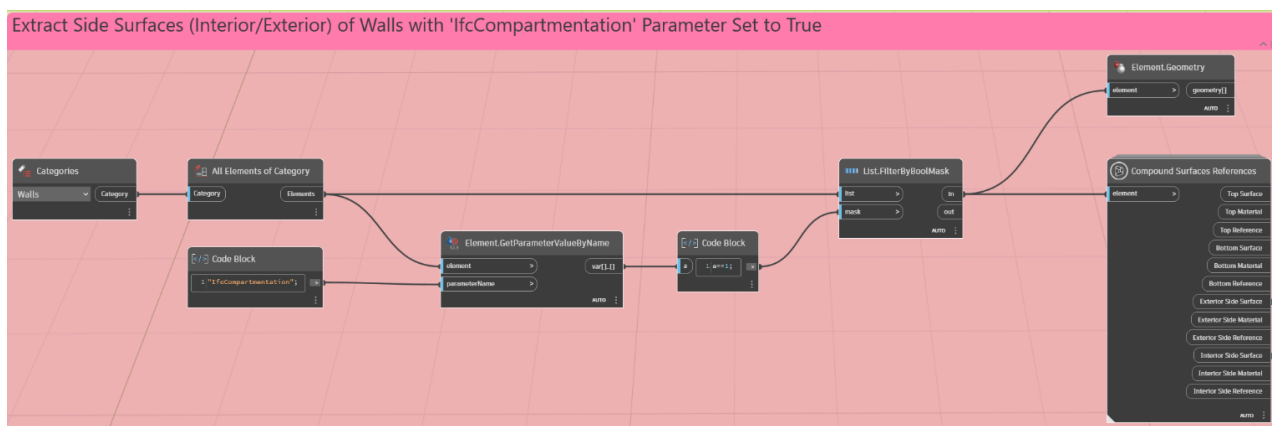


Figura 34 - Conjunto dos nós para a extração das superfícies interiores das paredes

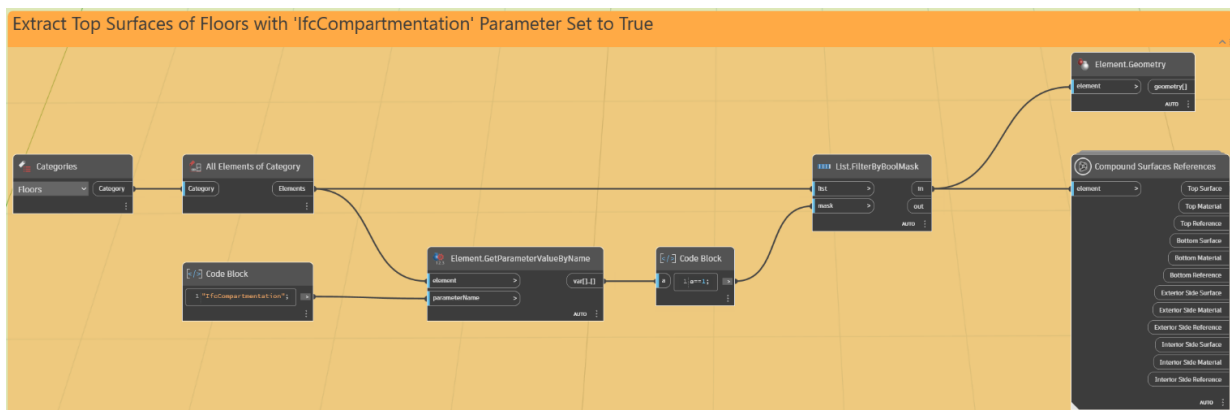


Figura 35 - Conjunto de nós para a extração das superfícies superiores do pavimento

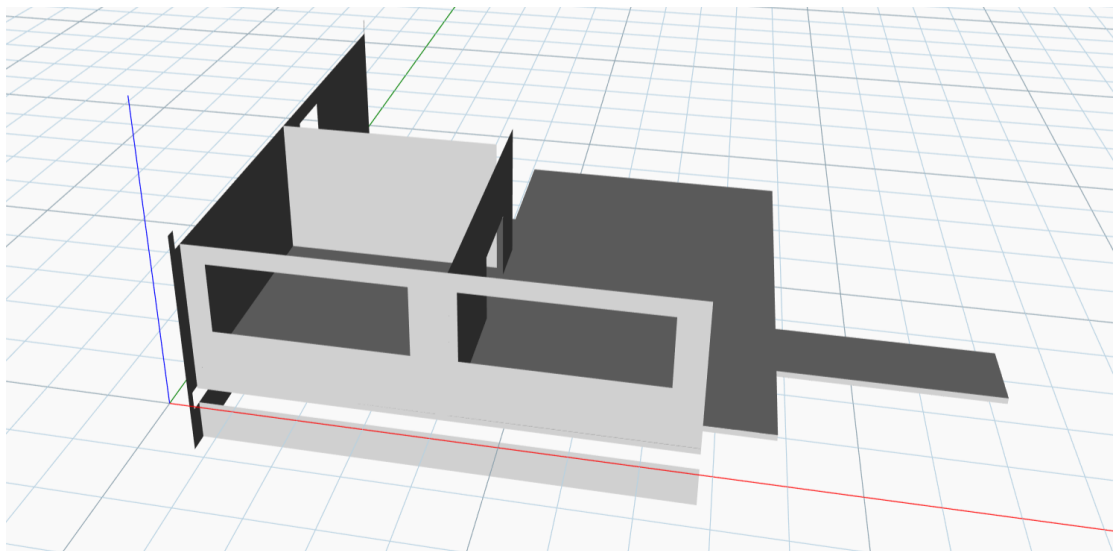


Figura 36 - Visualização 3d das superfícies extraídas

O segundo grupo de nodes (Figura 37 e Figura 38), tem como função principal a geração de planos a partir dos pontos médios das superfícies selecionadas e dos seus vetores normais. Para tal, são utilizados os nodes *Surface.PointAtParameter* e *Surface.NormalAtParameter*, que permitem identificar o ponto central de cada superfície e determinar a sua orientação perpendicular. Com base neste ponto médio e no vetor normal associado, é criado um plano orientado perpendicularmente à superfície. Este plano é depois ampliado pela construção de um retângulo cujas dimensões são definidas pelos nodes *Rectangle.ByWidthLength*, que, por sua vez, é convertido numa superfície através do node *Surface.ByPatch*.

O resultado final consiste num conjunto de superfícies estendidas, que são posteriormente unificadas numa lista única. A extensão das superfícies garante uma área suficiente para que estas se cruzem eficazmente e haja interseção com as paredes e pavimentos presentes no modelo.

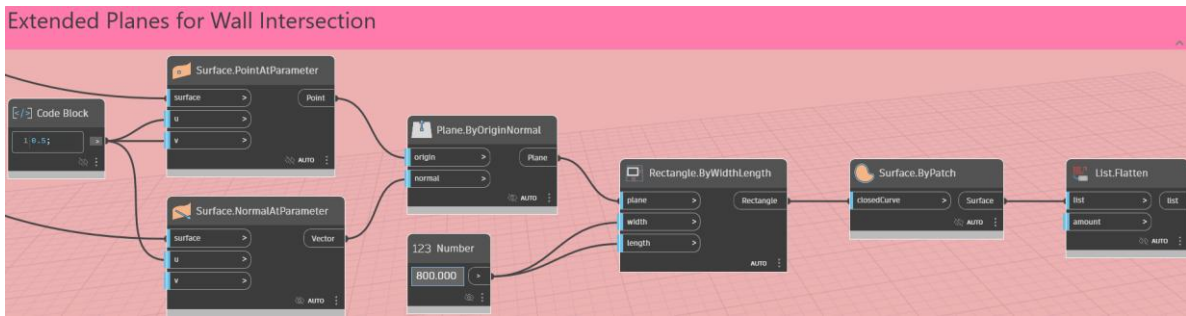


Figura 37 - Grupo de nós para extensão das superfícies das paredes

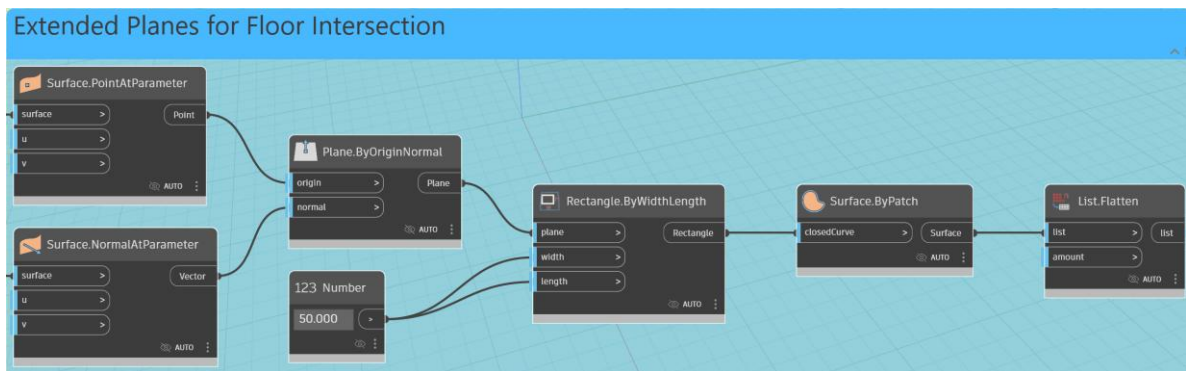


Figura 38 - Grupo de nós para extensão da superfície do pavimento

Na Figura 39 e Figura 40 observa-se o resultado do conjunto de nodes, onde as superfícies estão estendidas.

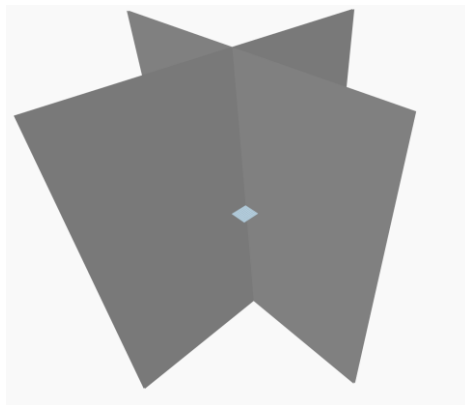


Figura 39 - Superfícies das paredes estendidas

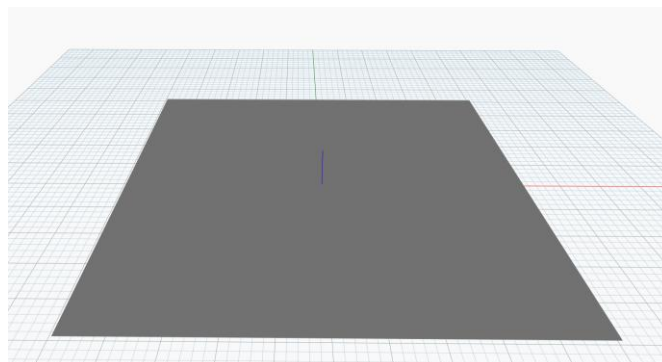


Figura 40 - Superfície do pavimento estendido

Com as superfícies estendidas das paredes e do pavimento, fez-se a sua interseção usando o nó *Geometry.Intersect* e o seu devido agrupamento com o *List.Flatten* (Figura 41), criando linhas que delimitam o compartimento (Figura 42).

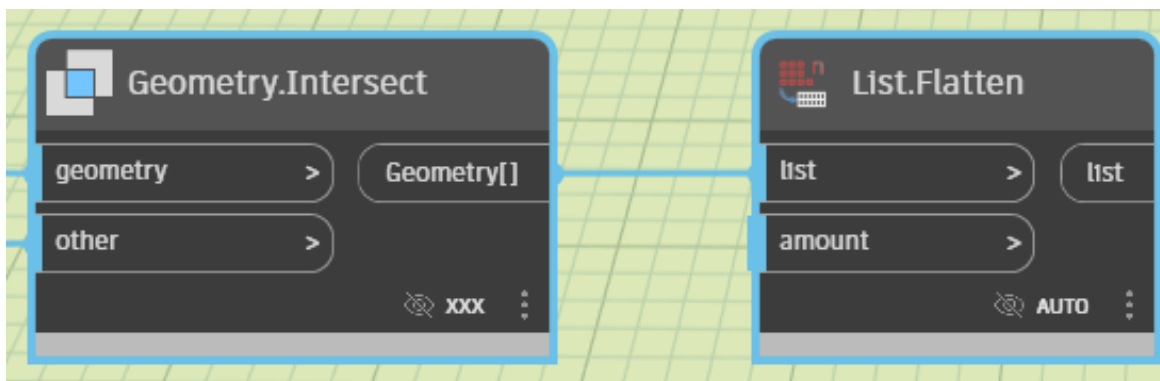


Figura 41 - Interseção das superfícies e o seu agrupamento

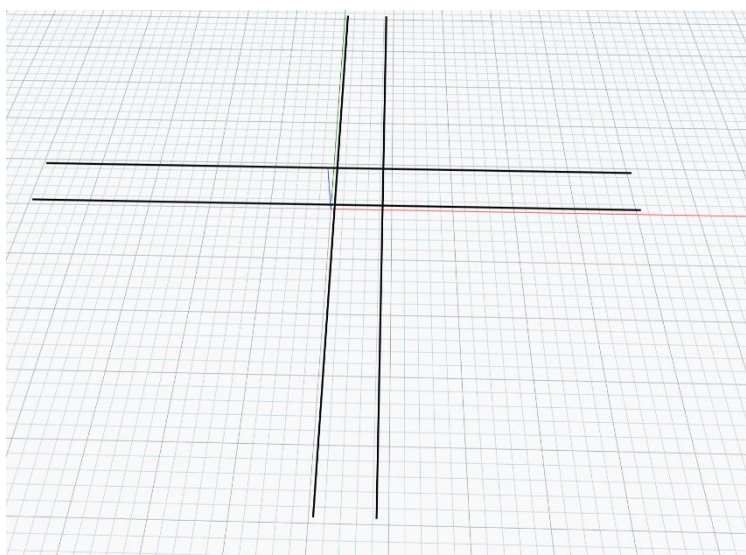


Figura 42 - Linhas originadas a partir da interseção das superfícies

No grupo de nós seguinte (Figura 44), inicia-se com um script *Python* desenvolvido para este uso, especificamente para eliminar linhas duplicadas (Código 1), garantindo que apenas linhas únicas permanecem no conjunto de dados. A presença de linhas iguais poderia comprometer as operações seguintes, pelo que esta limpeza prévia é essencial para a integridade do processo. Posteriormente, foi executado um segundo script *Python* que tem como função identificar e criar os pontos de interseção entre as linhas restantes.

```
import clr
clr.AddReference('ProtoGeometry')
from Autodesk.DesignScript.Geometry import *

lines = IN[0] # Lista de linhas

def is_duplicate(l1, l2):
    # Verifica se os pontos de início e fim são iguais (em qualquer ordem)
    s1, e1 = l1.StartPoint, l1.EndPoint
    s2, e2 = l2.StartPoint, l2.EndPoint

    return (
        (s1.IsAlmostEqualTo(s2) and e1.IsAlmostEqualTo(e2)) or
        (s1.IsAlmostEqualTo(e2) and e1.IsAlmostEqualTo(s2))
    )

# Lista para guardar apenas linhas únicas
unique_lines = []

for line in lines:
    if not any(is_duplicate(line, uline) for uline in unique_lines):
        unique_lines.append(line)

OUT = unique_lines
```

Código 1 - Código usado para apagar as linhas duplicadas

No entanto, uma dificuldade significativa surgiu neste ponto, se os pontos de interseção fossem simplesmente conectados na ordem em que aparecem, as linhas iriam desenhar-se de forma incorreta ou confusa, pois os pontos não estavam ordenados no programa. Assim, o resultado seria uma configuração errada dos compartimentos, comprometendo a fiabilidade do modelo, como se observa na Figura 43.

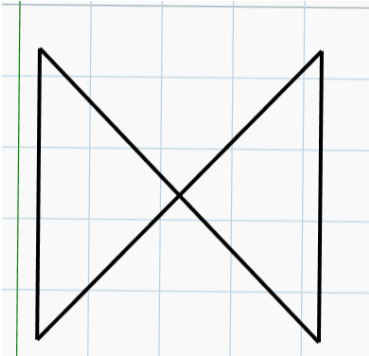


Figura 43 - Compartimento conectado antes dos pontos serem ordenados

Deste modo, o passo seguinte no grupo de nodes consiste em ordenar esses pontos para garantir que, ao serem ligados para formar as linhas do compartimento, as linhas se estruturam corretamente e representam fielmente as delimitações pretendidas (Figura 45).

Iniciando pelo nó *Plane.ByBestFitThroughPoints* que calcula o melhor plano ajustado aos pontos, assegurando uma orientação consistente. De seguida define-se a origem e os eixos do plano, os nodes *Plane.Origin*, *Plane.XAxis* e *Plane.Normal* são responsáveis por extrair as componentes fundamentais da geometria. A determinação do vetor entre dois pontos é obtida pelo node *Vector.ByTwoPoints*, e o cálculo do ângulo entre vetores acerca de um eixo é realizado por *Vector.AngleAboutAxis*. Por fim, a ordenação dos pontos é efetuada pelo nó *List.SortByKey*. Esta ordenação garante a coerência geométrica necessária para uma representação válida e funcional dos compartimentos corta-fogo.

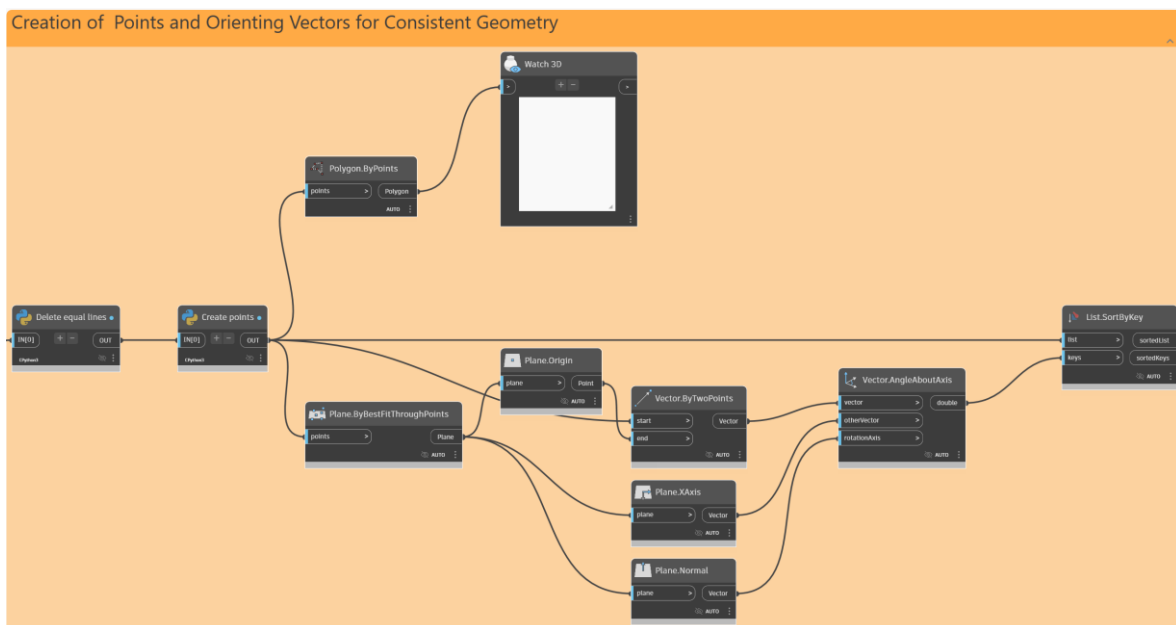


Figura 44 - Grupo de nós para a criação de pontos e orientação de vetores para geometria consistente

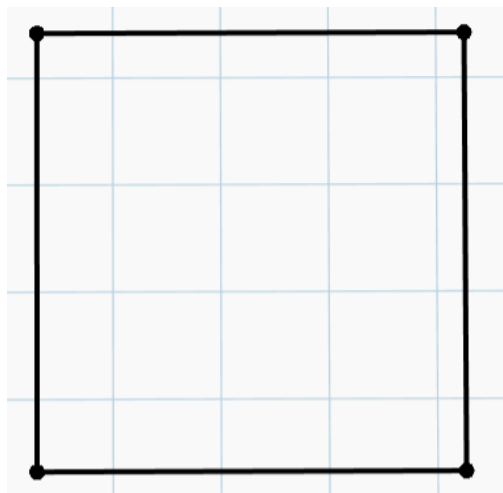


Figura 45 - Linhas feitas apos a ordenação dos pontos

No último conjunto de nós (Figura 46), a superfície é inicialmente criada pelos pontos antes alcançados, utilizando o nó *Surface.ByPerimeterPoints*. O nó *Surface.PointAtParameter* gerar um ponto central na superfície, contribuindo para a correta localização geométrica da área utilizando o nó *Area.ByPointAndView* do pacote add-ons *DynamoMEP*. Em simultâneo, o node *Surface.PerimeterCurves* extrai as curvas do perímetro da superfície, essenciais para delimitar os limites físicos do compartimento.

O nó *Views* seleciona a vista apropriada para a operação, garantindo que todos os elementos são processados no contexto visual pretendido do projeto. O nó *Passthrough*, do pacote add-ons *archilab*, permite gerir o fluxo dos dados e garantir que a informação chega ao node final em sequência correta. Por último, o node *AreaBoundary.ByCurveAndView* utiliza as curvas extraídas e a vista definida para gerar os limites da área, ou seja, as delimitações reais dos compartimentos corta-fogo no modelo *Autodesk Revit*. Este bloco de nós mostra claramente o encadeamento lógico desde a geração da superfície, definição dos pontos centrais e limites, até à criação das fronteiras dos compartimentos completamente integradas no Revit. Esta automatização diminui significativamente o tempo de modelação e assegura a precisão da representação regulamentar dos compartimentos corta-fogo.

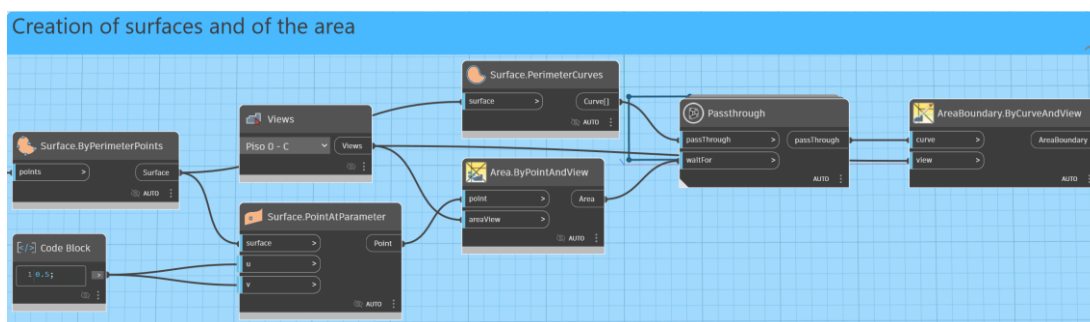


Figura 46 - Criação dos nós e da área

Na Figura 47 é ilustrado que a área foi criada no Autodesk Revit de forma bem-sucedida validando o script automático.

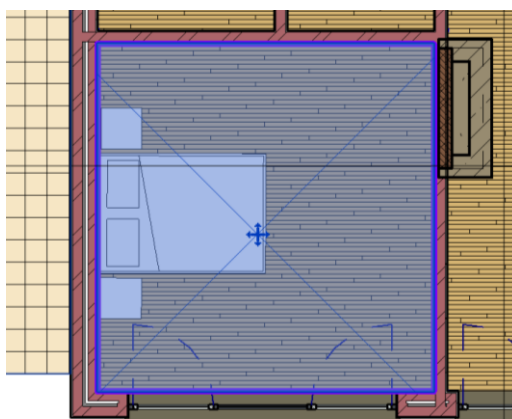


Figura 47 - Área criada a partir do script automático realizado no Dynamo

Apesar da Figura 47 demonstrar que a área foi gerada com sucesso, o método revelou algumas limitações em situações de maior complexidade geométrica. Após a realização de testes adicionais com geometrias distintas e mais desafiantes, tornou-se evidente que esta abordagem não seria a solução ideal para todos os casos.

A principal dificuldade observada surge nas geometrias mais complexas, onde as interseções das superfícies das paredes e do pavimento nem sempre se verificam de forma clara. Nestes cenários, pode tornar-se impossível identificar corretamente os pontos de interseção necessários para criar os compartimentos, o que impede a automação pretendida e, conseqüentemente, compromete o método. Na Figura 48, verifica-se uma geometria mais complexa para a realização de testes onde se realizou a área manualmente.

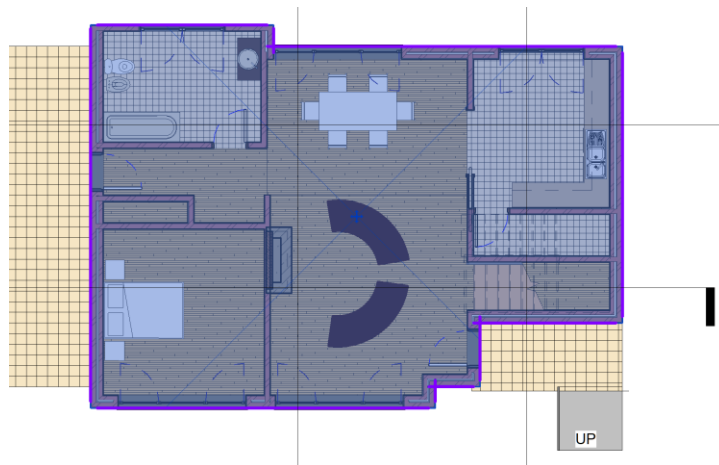


Figura 48 - Nova geometria complexa de testes, onde se verifica a área realizado manualmente

Na Figura 49, observa-se que ao aplicar o script automático numa geometria mais complexa, a criação da área apresenta resultados incorretos, caracterizados pela obtenção excessiva de pontos de interseção. Esta abundância de pontos resulta diretamente das limitações do método adotado, pois a análise geométrica baseada em interseções torna-se desajustada diante da maior irregularidade das superfícies envolventes.

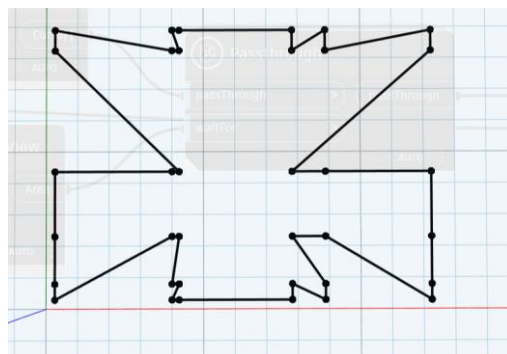


Figura 49 - Área feita a partir do script automático

Face às limitações identificadas com esta primeira abordagem, avançou-se para o desenvolvimento da segunda iteração, numa tentativa de combater os problemas associados às geometrias mais complexas e encontrar uma solução mais robusta e adaptável. É importante destacar que este foi o primeiro script desenvolvido no *Dynamo*, representando uma aprendizagem dos conceitos e metodologias de programação visual. Como primeira experiência prática com a ferramenta, o processo revelou-se uma excelente oportunidade de aprendizagem, embora tenha sido naturalmente mais lento, característico do primeiro contacto com qualquer outro novo *software*. Esta experiência inicial foi crucial para compreender as potencialidades e limitações do *Dynamo*, preparando o terreno para abordagens mais sofisticadas nas iterações seguintes.

### 3.4.2.2 Segunda iteração

Na segunda tentativa no desenvolvimento do algoritmo em *Dynamo*, a abordagem centrou-se na extração das superfícies interiores das paredes, a obtenção dos perímetros dessas mesmas superfícies para organizar as linhas e facilitar a sua conversão num polígono. O objetivo passava por simplificar o processo de definição dos compartimentos através da análise direta das geometrias dos elementos sem o processo de as manipular com o *Dynamo*.

Para a obtenção das superfícies interiores das paredes o método usado foi o mesmo utilizado que na primeira iteração, ilustrado no conjunto de nós apresentado na Figura 34. Esta abordagem baseia-se na seleção das categorias das paredes, na sua filtragem dos elementos através do parâmetro *lfcCompartmentation* com valor booleano verdadeiro, e na utilização do nó do pacote add-ons GeniusLoci para extrair as superfícies específicas necessárias (Figura 50).

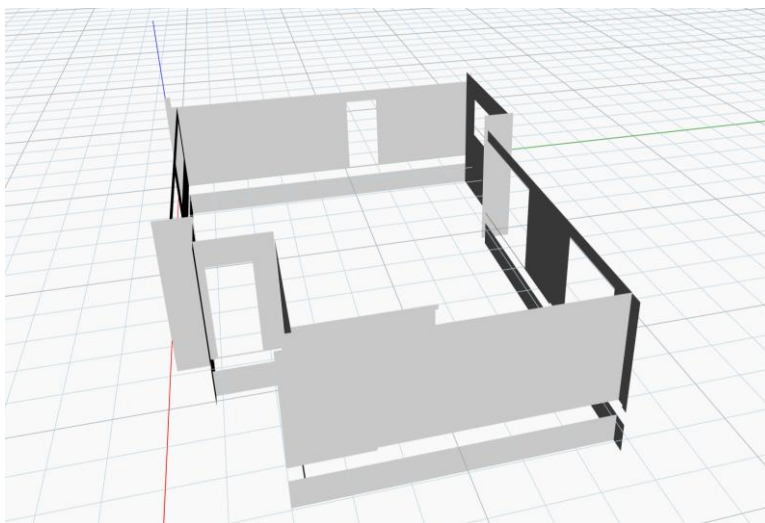


Figura 50 - Superfícies interiores das paredes

O conjunto de nós ilustrado na Figura 51, mostra a sequência de nós que suportam o método desenvolvido. O primeiro nó, *Surface.PerimeterCurves*, obtém as curvas do perímetro das superfícies extraídas previamente (Figura 52). O nó *Curve.StartPoint* identifica o ponto inicial de cada curva, enquanto o *Point.X* extrai as coordenadas X dos pontos, facilitando as operações de ordenação subsequentes. Os dados são organizados utilizando o node *List.Flatten* e posteriormente ordenados através do *List.SortByKey*, garantindo a sequência das curvas.

Para a consolidação das curvas numa geometria única, foi desenvolvido um *script Python* que processa as linhas de fronteira.

O código desenvolvido e implementado para esta iteração (Anexo II) realiza várias operações essenciais como:

- Obtenção dos pontos de início e fim de todas as curvas;
- Correção dos pontos próximos através de uma tolerância definida (colando pontos dentro de uma distância especificada);
- Criação de novas linhas com os pontos corrigidos;
- União de todas as linhas numa *PolyCurve* utilizando o método *PolyCurve.ByJoinedCurves*.

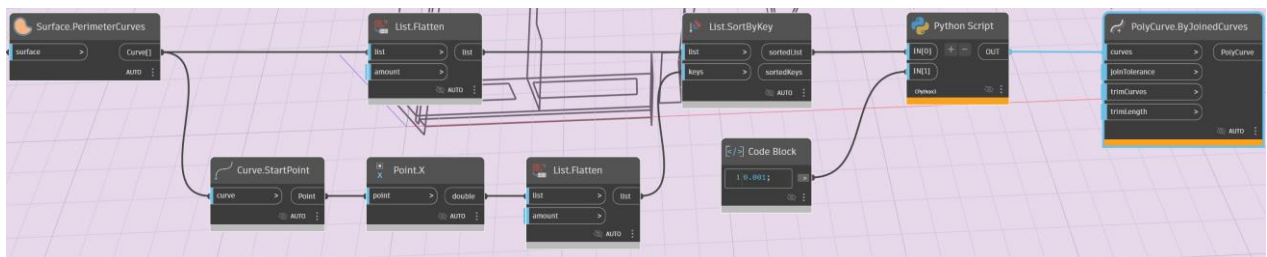


Figura 51 - Conjunto de nós usados na 2ª iteração

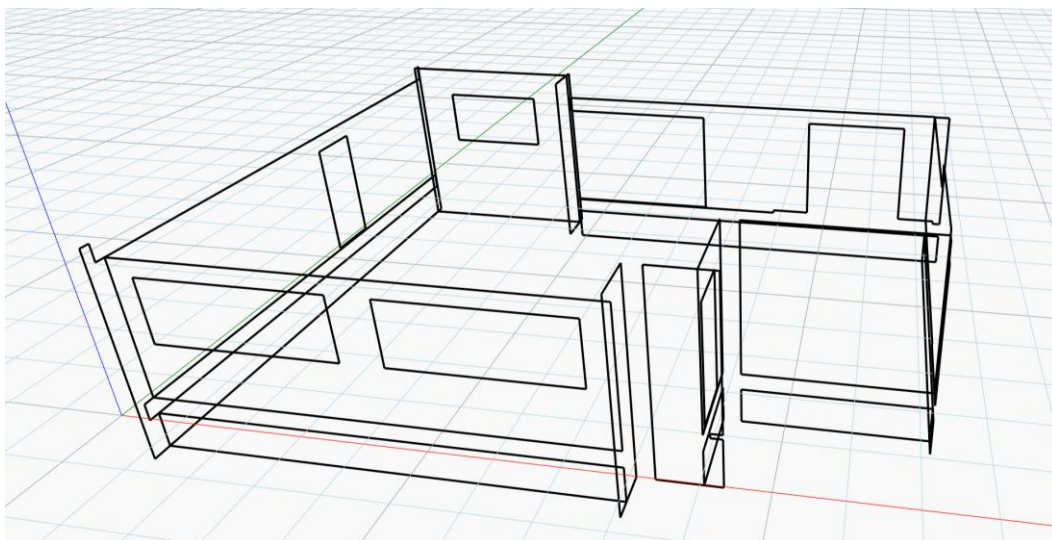


Figura 52 - Perímetro das superfícies

Contudo, os objetivos ambicionados não foram alcançados através desta implementação, revelando limitações significativas na capacidade do script *Python* para processar adequadamente as geometrias. Perante estas dificuldades na implementação do script, foram realizadas várias tentativas de depuração do código *Python*, recorrendo inclusivamente ao auxílio de inteligência artificial e aos recursos disponíveis para identificar e corrigir os problemas existentes. Apesar dos esforços dedicados ao algoritmo e às diversas abordagens testadas para resolver as inconsistências na criação da *PolyCurve*, não foi possível obter os resultados esperados. Face ao tempo investido e à persistência dos problemas técnicos, concluiu-se que esta metodologia não oferecia uma solução viável para os objetivos pretendidos, pelo que se optou por abandonar esta abordagem e avançar para o desenvolvimento da iteração seguinte.

### 3.4.2.3 Terceira iteração

No começo desta terceira iteração, foi decidido utilizar o nó python script para a maioria do conjunto de passos devido a sua flexibilidade. Considerou-se que, para gerar um polígono fiável a partir das curvas, era essencial ordenar previamente as linhas e calcular as interseções que iriam definir os vértices. Assim, o primeiro passo deste conjunto de nós, (Figura 55) foi a reutilização das superfícies interiores das paredes e a superfície superior do pavimento (já extraídas na iteração inicial), como identificado na Figura 34 e Figura 35. Após a extração das superfícies o primeiro nó é “Projetar Perímetros das Superfícies no Plano Base cota Z” onde recolhe todas as curvas do perímetro das superfícies das paredes e determina o valor mínimo de cota Z entre os pontos iniciais e finais de cada curva. A seguir, cada curva é projetada para a cota Z mínima alcançada anteriormente, excluindo segmentos que formam um único ponto dentro da tolerância de 0.001, como ilustrado na Figura 53.

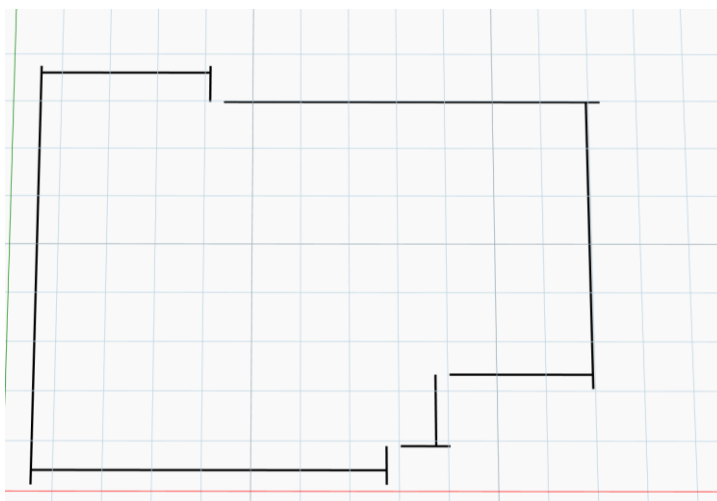


Figura 53 - Resultado obtido após o 1º nó na terceira iteração

Ao analisar as curvas obtidas pelo script “Projetar Perímetros das Superfícies no Plano Base cota Z” verificou-se que a quantidade de curvas realizadas era significativamente superior as expectáveis, visível na Figura 54, com isso foi-se capaz de identificar a existência de curvas duplicadas no projeto.



Figura 54 - Número de curvas obtidas pelo 1º python script

Por isso, no nó seguinte, “Alinhar Curvas à cota Z da Superfície superior e Eliminar Duplicados”, são recebidas as curvas projetadas e a superfície superior do pavimento. Assim, o script obtém a cota Z da superfície do pavimento e ajusta todas as curvas a essa cota Z. Para evitar as sobreposições e duplicados, gera-se uma chave única para cada curva com base nas suas coordenadas (X,Y), e os segmentos de curva repetidos são rejeitados, sendo devolvido um conjunto limpo de curvas.

De seguida, após a seleção do conjunto adequado de curvas através do nó *List.GetItemAtIndex*, o nó *Python* “Ordenação Sequencial de Curva” organiza as linhas numa sequência lógica. O processo de ordenamento inicia-se com uma curva e, em cada passo seguinte, é escolhida a curva mais próxima do ponto final da linha anterior, ajustando-se assim a orientação sempre que necessário para garantir a continuidade do processo. Em paralelo, o *script* identifica pares de linhas paralelas e antiparalelas (ângulos de 0° ou 180°, respetivamente), sendo devolvido no final a lista de linhas já ordenadas e com os respetivos índices de paralelismo.

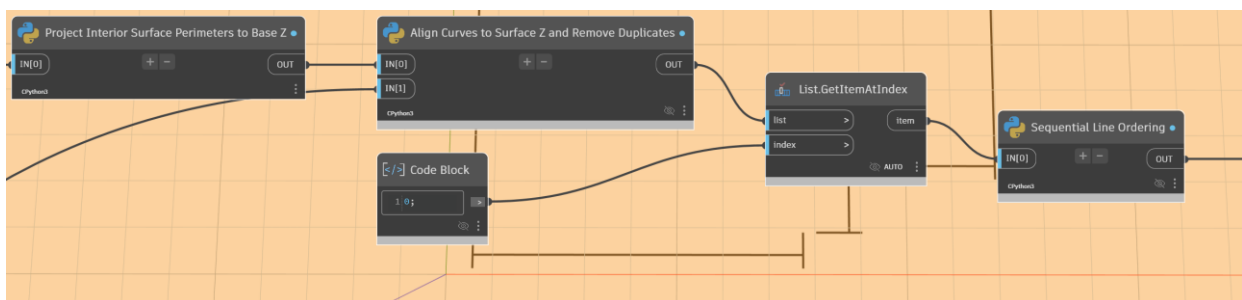


Figura 55 - 1º conjunto de nós da terceira iteração

No final do primeiro conjunto da iteração nº3, os objetivos definidos foram alcançados, contudo a delimitação para a criação da compartimentação corta-fogo ainda não se encontrava implementada. Nesse sentido, foi criado um segundo conjunto de nós (Figura 56) que tem por objetivo a criação de pontos de interseção das curvas previamente ordenadas, e a partir desses pontos a criação da *polycurve*, que seria a delimitação do compartimento.

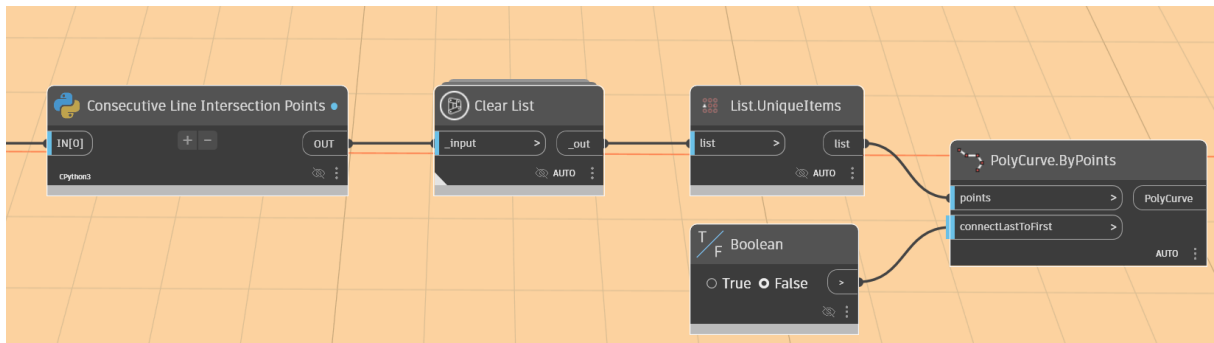


Figura 56 - 2º conjunto de nós da terceira iteração

Terminou-se a terceira iteração verificando-se que, mesmo após diversas sessões de revisão e alteração de estratégia, o script Python *“Pontos de Interseção de Linhas Consecutivas”* não produziu os pontos de interseção das linhas conforme desejado (Figura 57). A incapacidade de obter interseções fiáveis comprometeu o objetivo desta iteração. Por esse motivo, optou-se por avançar para uma quarta e última iteração, alterando completamente a abordagem e afastando-se da dependência das superfícies interiores das paredes e da superfície superior do pavimento.

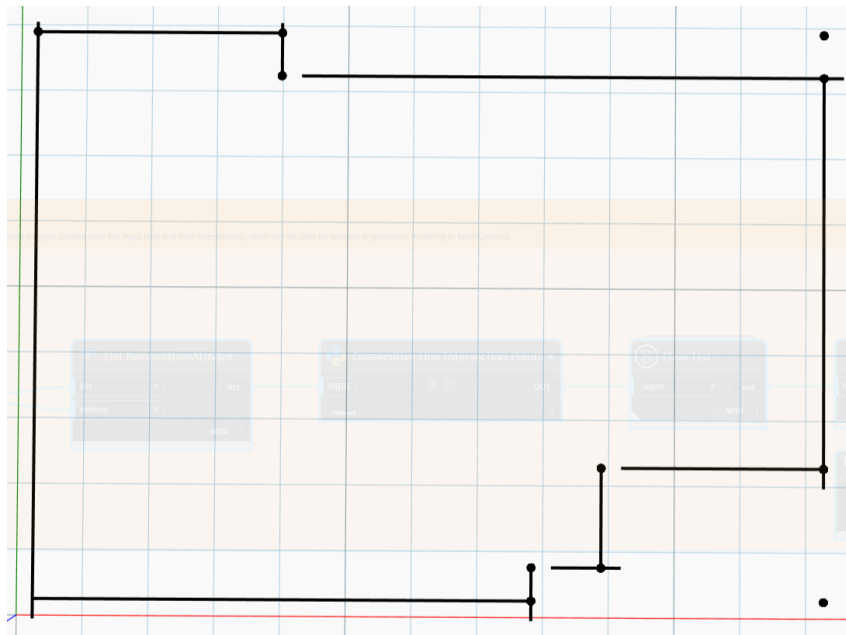


Figura 57 - Pontos criados a partir do script, fugindo da geometria desejada

### 3.4.2.4 Quarta iteração

A quarta e última iteração representa uma mudança na abordagem e procedimento para a realização do *script*, abandonando a dependência as superfícies interiores das paredes e superiores do pavimento. Esta nova filosofia parte de uma estratégia baseada diretamente nos elementos construtivos primário, as paredes, explorando as suas propriedades geométricas e paramétricas inerentes.

O primeiro conjunto de nós (Figura 58), desta nova metodologia inicia-se com a seleção de todas as paredes presentes no projeto através do node *Categories*, seguido pelo nó *All Elements of Category* que seleciona a totalidade dos elementos da categoria escolhida, as paredes. A filtragem das paredes é posteriormente realizada através do parâmetro personalizado no Autodesk Revit *IfcCompartmentation*, empregando ao nó *Element.GetParameterValueByName*. É importante salientar que esta abordagem é completamente modular, permitindo ao utilizador definir qualquer parâmetro de filtragem conforme as necessidades específicas do projeto ou dos critérios preferenciais de utilização.

Depois de separar as paredes pertencentes à compartimentação através do *List.FilterByBoolMask*, procede-se à extração das propriedades fundamentais destes elementos que serão uteis para os conjuntos de nós futuros. O node *Element.GetLocation* extrai a curva mediana de cada parede, exibindo o eixo central do elemento construtivo e constituindo a base geométrica para os cálculos subsequentes (Figura 59). Simultaneamente, o *Element.Type* permite aceder às propriedades das paredes, facilitando a obtenção da largura através de *Element.GetParameterValueByName* com o parâmetro *Width*. Por fim, o nó *Wall.Orientation* fornece os vetores normais de cada parede, informação crucial para determinar a orientação espacial e proceder a operações geométricas nos próximos passos.

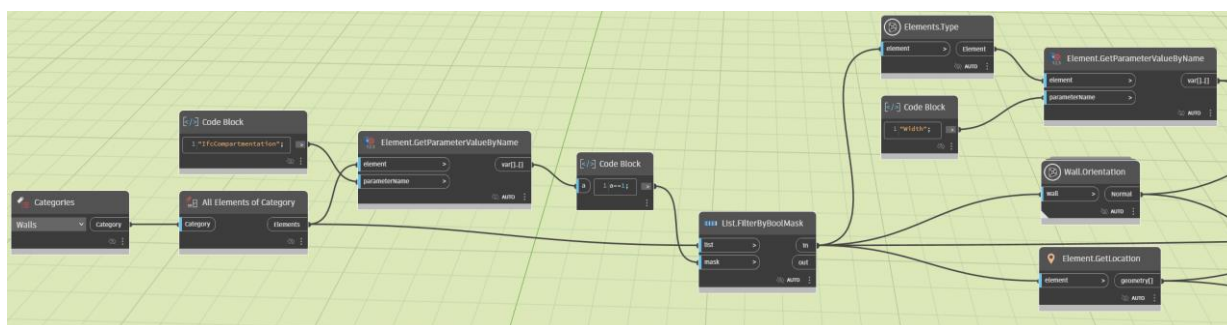


Figura 58 - Primeiro conjunto de nós da 4ª iteração

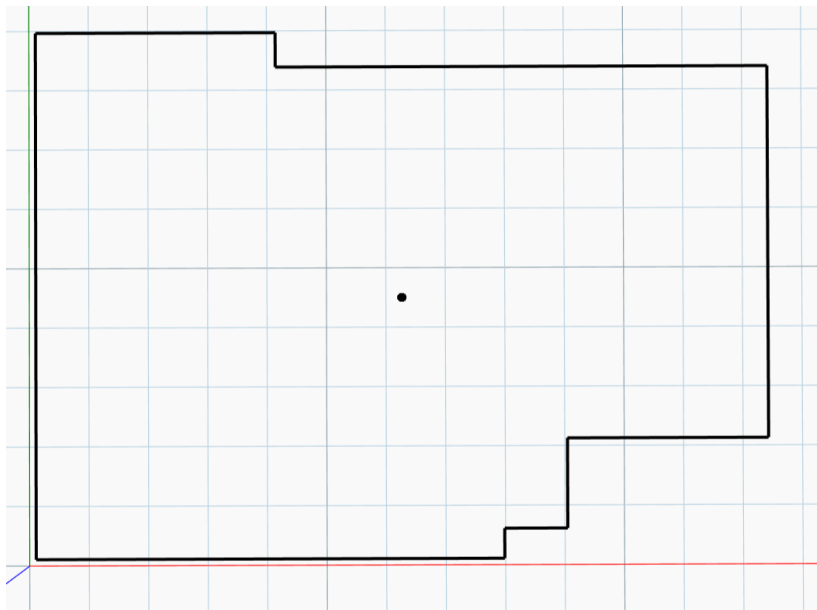


Figura 59 - Curva no eixo central das paredes

O segundo conjunto de nós (Figura 60), tem como objetivo gerar as curvas que delimitam as faces interiores e exteriores das paredes, partindo da linha mediana anteriormente obtida.

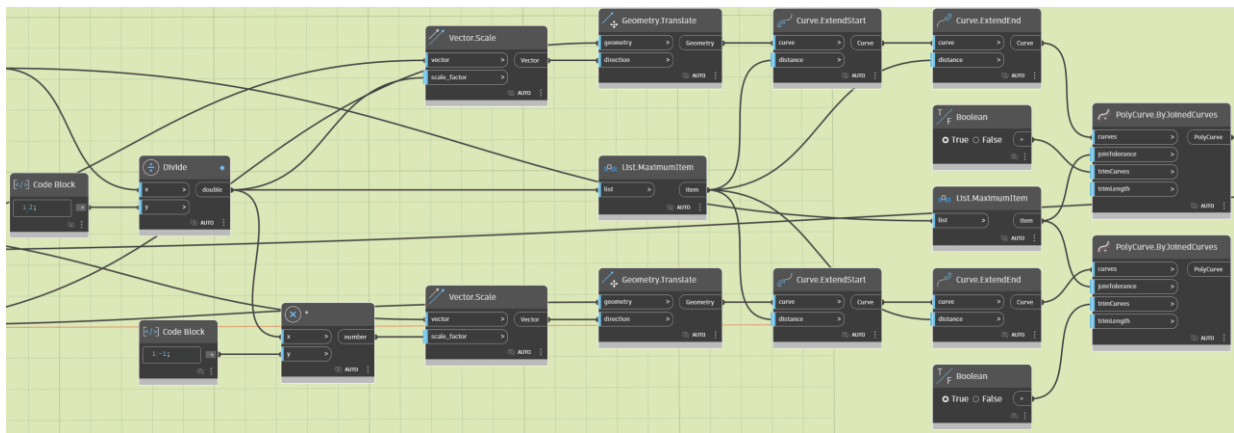


Figura 60 - Segundo conjunto de nós na quarta iteração

Para tal, utilizou-se um processo de manipulação vetorial e geométrica. Primeiramente, com a orientação das paredes já definida foi ajustada a sua escala conforme metade da largura da parede, utilizando o nó *Vector.Scale* combinado com valores positivos e negativos para garantir a deslocação correta das linhas para cada sentido e assim alcançando as faces exteriores e interiores.

De seguida, com *Geometry.Translate*, trasladou-se a curva mediana para cada lado, originando as curvas interiores e exteriores. Estas linhas foram ainda prolongadas nas suas extremidades utilizando os nós *Curve.ExtendStart* e *Curve.ExtendEnd*, assegurando a sua intersecção e continuidade espacial (Figura 61).

Por fim, recorreu-se ao node *PolyCurve.ByJoinedCurves* para unir as curvas, formando os contornos finais das faces superiores e interiores das paredes (Figura 62). Neste nó, para garantir que a união das curvas fosse um sucesso, mesmo na existência de paredes com larguras diferentes, foi considerada a largura máxima como *joinTolerance*, valor obtido através do nó *List.MaximumItem*, assegurando assim a união correta entre todos os elementos.

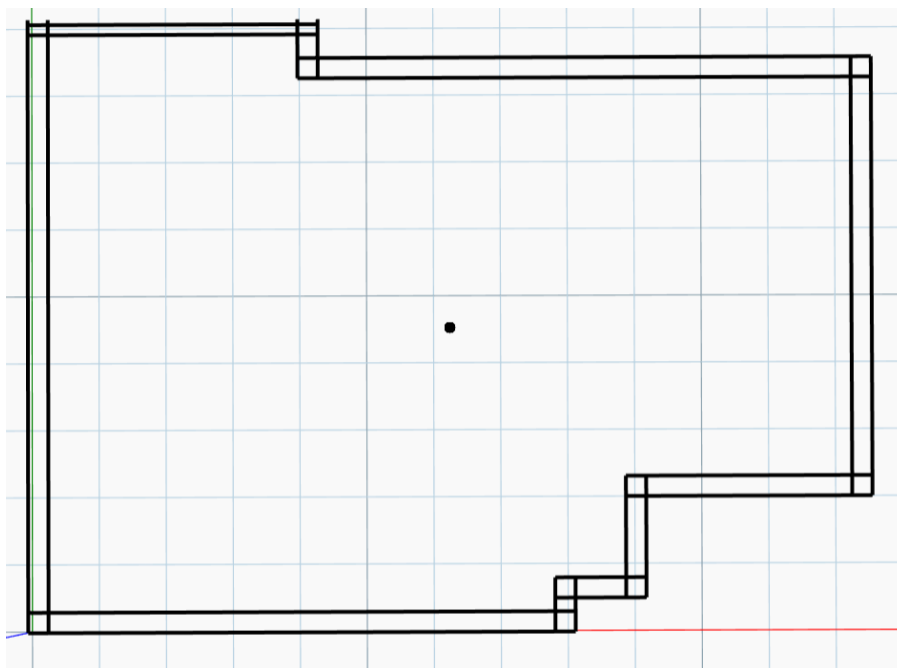


Figura 61 - Curvas após a sua transladação e extensão nas extremidades

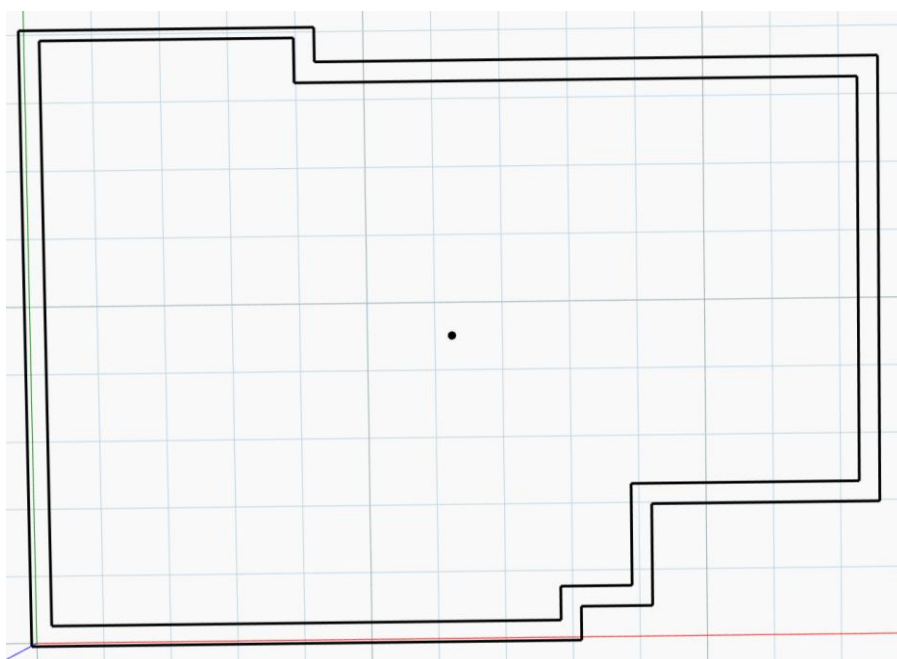


Figura 62 - Curvas após a sua junção, delimitando as faces superiores e interiores das paredes

No último conjunto de nodes, (Figura 64), desta iteração finaliza o processo de automação através da criação direta das vistas desejadas como das áreas em *Autodesk Revit*. O fluxo do conjunto inicia-se com dois nós de manipulação geométrica essenciais: o *Geometry.Explode* desconstrói as *polycurves* geradas anteriormente, separando-as em curvas individuais que serão utilizadas como *boundaries*, e simultaneamente, o *Surface.ByPatch* converte essas mesmas *polycurves* numa superfície (Figura 63), facilitando a identificação de pontos interiores que garantem o correto posicionamento da área. O *Surface.PointAtParameter* extrai o ponto central da superfície gerada, (Figura 63), assegurando que a área seja criada dentro do perímetro definido pelas *boundaries*.

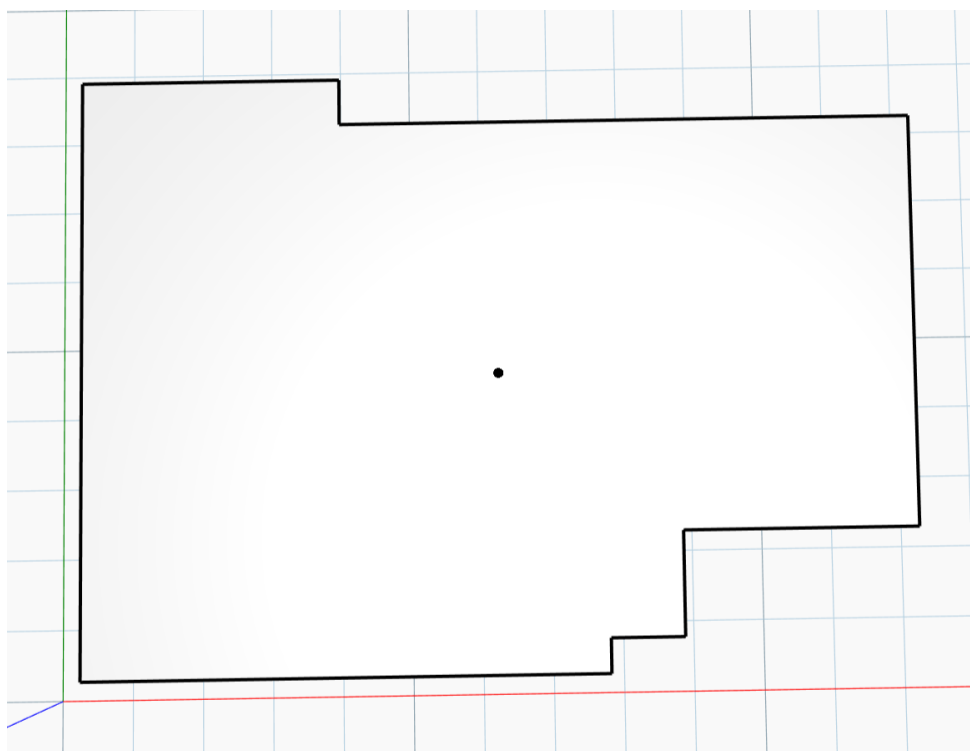


Figura 63 - Ilustração da superfícies criada e o ponto central posicionado

O principal processo deste conjunto de nos é executado por um *script Python*, (Anexo II), personalizado que estabelece total controlo sobre a criação das vistas e a gestão dos parâmetros específicos da compartimentação.

Este script realiza múltiplas tarefas críticas como:

- Acesso ao documento ativo do Revit
- Procura do *Area Scheme* denominado *Compartmentation* (que deve ser previamente criado no projeto) e se não existe dá um aviso ao utilizador;
- Verifica a existência de uma vista *Area Plan* com o nome especificado, escolhido pelo utilizador, caso a vista não exista, o script cria automaticamente a vista, e se existir, remove todas as *boundaries* anteriores para evitar conflitos.

Por fim, o node *AreaBoundary.ByCurveAndView* do pacote *DynamoMEP* materializa as *boundaries* na vista criada, enquanto o *Area.ByPointAndView* gera a área propriamente dita utilizando o ponto central calculado anteriormente.

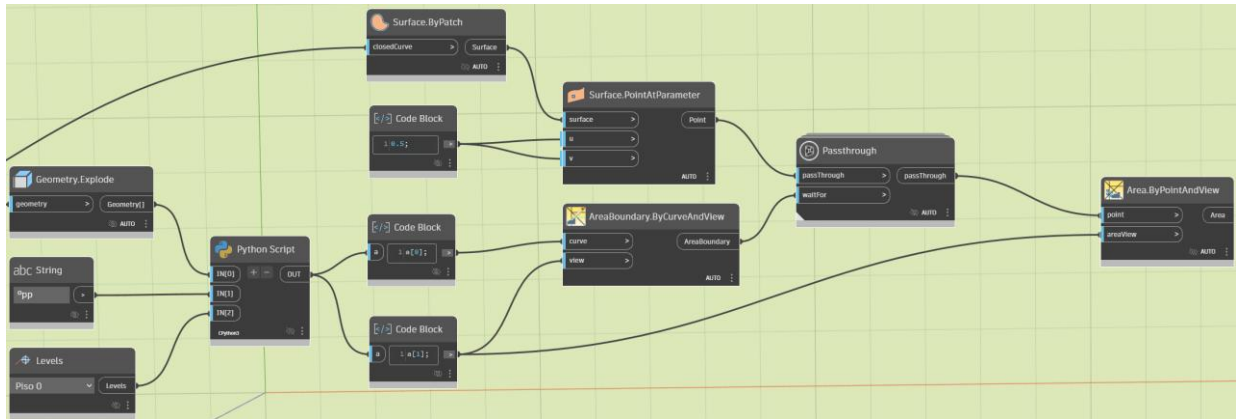


Figura 64 - Último conjunto de nós da quarta iteração

A Figura 65 ilustra o resultado da execução do *script* automático que mostra a área gerada corretamente, delimitada pelas *boundaries*, demonstrando que o algoritmo consegue materializar no ambiente *Autodesk Revit* as fronteiras.

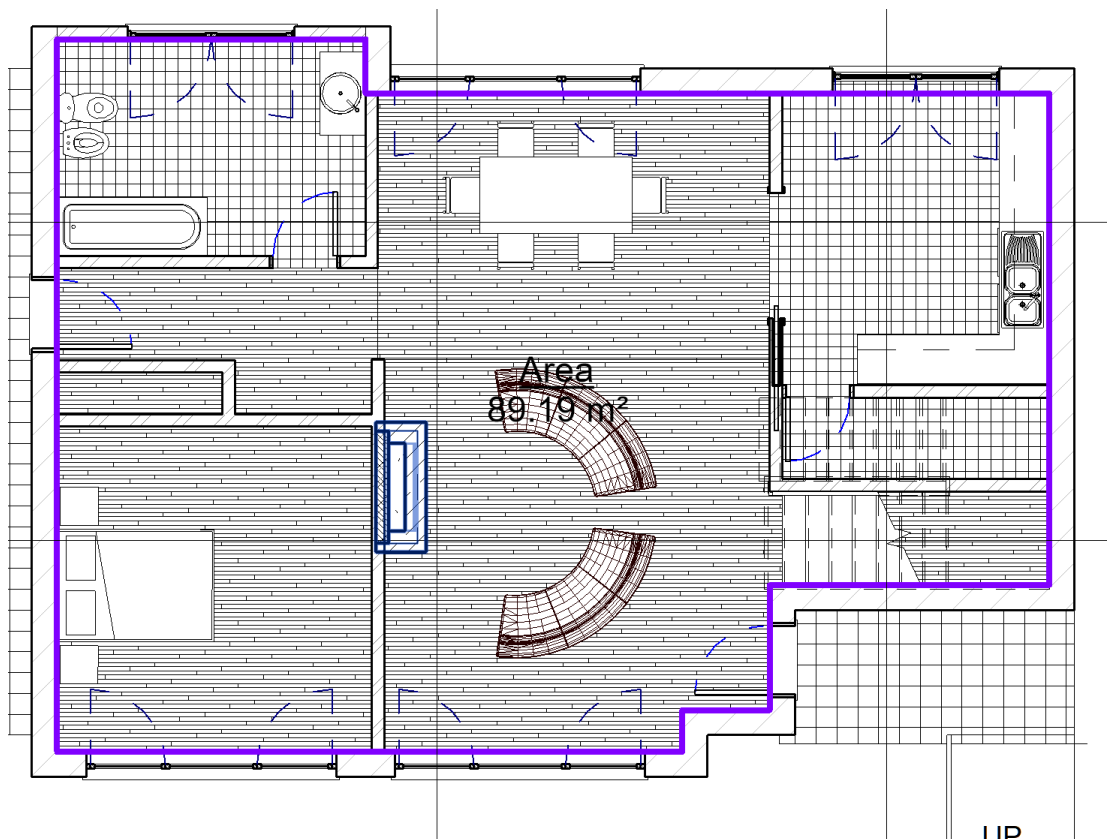


Figura 65 - Visualização no Autodesk Revit da área criada corretamente

Após a conclusão da quarta iteração, entende-se que esta representa o culminar do processo evolutivo de desenvolvimento da automatização dos compartimentos corta-fogo, constituindo a abordagem mais avançada e próxima de uma solução tecnicamente viável e que possa ser implementada. Esta metodologia demonstrou capacidades superiores em relação às iterações anteriores, nomeadamente na robustez da gestão de geometrias complexas, na precisão da definição de *boundaries* e na integração direta com os elementos nativos do Revit.

Note-se que é fundamental reconhecer que, apesar dos progressos significativos alcançados, persistem limitações técnicas que requerem refinamento adicional para uma implementação completa. Uma das principais restrições identificadas centra-se na incapacidade do *script* atual de processar simultaneamente múltiplas áreas no mesmo piso, exigindo ajustes na lógica de processamento e evitar conflitos na criação das delimitações. Adicionalmente, aspetos como a otimização dos parâmetros de *joinTolerance* para conjuntos de várias áreas pedem a implementação de um processamento mais rigoroso para as geometrias.

Contudo, considerando as limitações temporais inerentes ao contexto de estágio e à necessidade de explorar outras vertentes relevantes do projeto, tomou-se a decisão estratégica de interromper o desenvolvimento desta funcionalidade específica. Esta decisão baseou-se na avaliação de que o *script* e metodologia tinha sido estabelecido com sucesso, demonstrando a viabilidade técnica da automatização, embora a sua maturação para um produto completamente finalizado exigisse um investimento maior.

### **3.5 Integração com o formato IFC**

A integração com o formato Industry Foundation Classes constitui um aspeto fundamental da metodologia desenvolvida para a compartimentação corta-fogo, garantindo a interoperabilidade entre diferentes plataformas BIM e a preservação dos dados ao longo do ciclo de vida do projeto. O formato IFC, desenvolvido pela buildingSMART International (Figura 66) que é a entidade mundial do setor construtivo que impulsiona a transformação digital da indústria e está comprometida em proporcionar melhorias por meio da criação e adoção de padrões aberto para infraestrutura e edifícios. O IFC como um padrão aberto, permite a troca de informações de forma padronizada e independente do software utilizado, aspeto essencial para o contexto internacional do projeto FireBIM (Zanchetta et al., 2023).



Figura 66 - Logo da buildingSMART International

Este capítulo detalha os aspetos teóricos fundamentais do formato IFC, a estruturação da informação necessária para compartimentação corta-fogo, os parâmetros específicos utilizados, e os processos de exportação e softwares especializados. A abordagem desenvolvida garante que a informação de SCIE seja organizada e preservada durante os processos de interoperabilidade, mantendo a conformidade com os padrões internacionais.

### 3.5.1 Formato IFC

O formato IFC baseia-se numa estrutura hierárquica que permite a representação ampla de edifícios e infraestruturas através de entidades, propriedades, e relações bem definidas. Esta estrutura, ilustrada na Figura 67, organiza-se em quatro camadas principais: *Resource Layer* (camada de recursos), *Core Layer* (camada central), *Interoperability Layer* (camada de interoperabilidade), e *Domain Layer* (camada de domínio), cada uma com funcionalidades específicas que suportam diferentes aspetos da modelação BIM (Noardo et al., 2021).

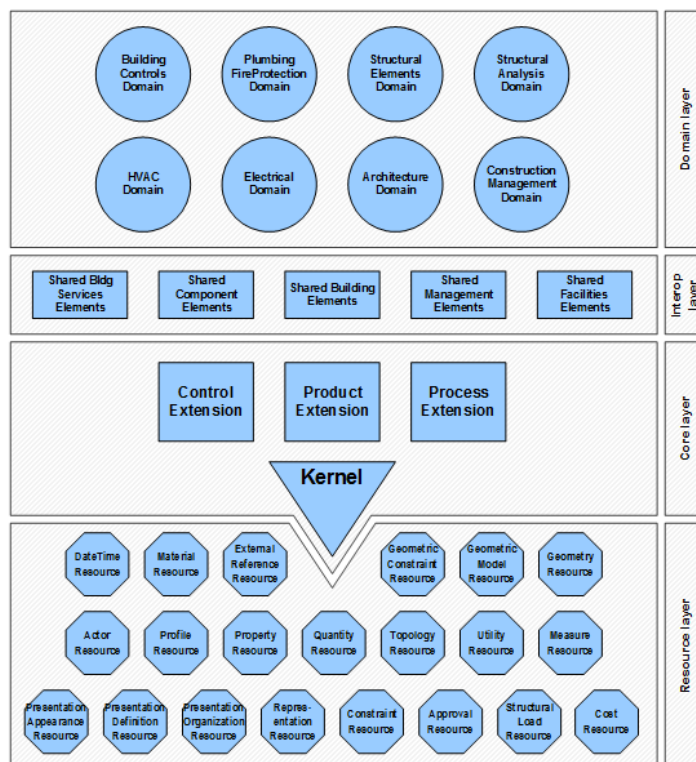


Figura 67 - As quatro camadas em que o IFC esta organizado

A camada de recursos fornece os elementos fundamentais necessários para definir geometrias, materiais, propriedades, e outras características básicas dos elementos construtivos. Esta camada inclui recursos geométricos, definições de materiais, propriedades temporais, e outros aspetos fundamentais que suportam as camadas superiores. A camada central estabelece os conceitos centrais do modelo, incluindo o *kernel*, este que contém as classes de raiz para a definição de objetos, relacionamentos e propriedades, e as extensões que permitem a representação de produtos, processos e controlos (Noardo et al., 2021).

A camada de interoperabilidade facilita a partilha de elementos comuns entre diferentes domínios da construção, incluindo elementos arquitetónicos, estruturais, e de sistemas técnicos, e com isto aumentando o nível de detalhe e precisão da informação. A camada de domínio especifica aplicações particulares para diferentes áreas da construção, incluindo arquitetura, engenharia estrutural, sistemas MEP, e gestão de instalações.

A hierarquia de entidades IFC inicia-se com a entidade raiz *IfcRoot* (Figura 68), que serve como base para todas as outras entidades do modelo (Figura 68). Esta estrutura hierárquica permite a classificação sistemática de todos os elementos construtivos, desde elementos básicos até sistemas complexos, garantindo consistência e interoperabilidade entre diferentes aplicações BIM (Majcher, 2020).

Para a compartimentação corta-fogo, são particularmente relevantes as entidades *IfcSpatialZone* e *IfcZone*.

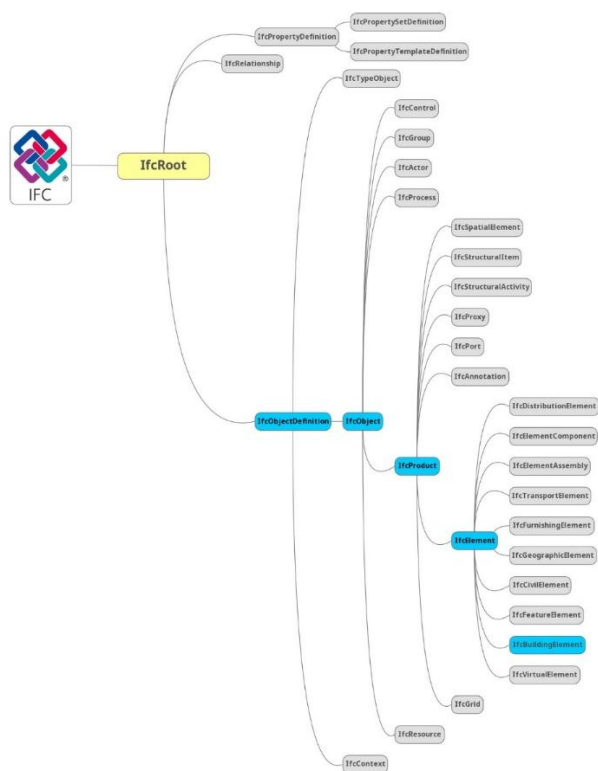
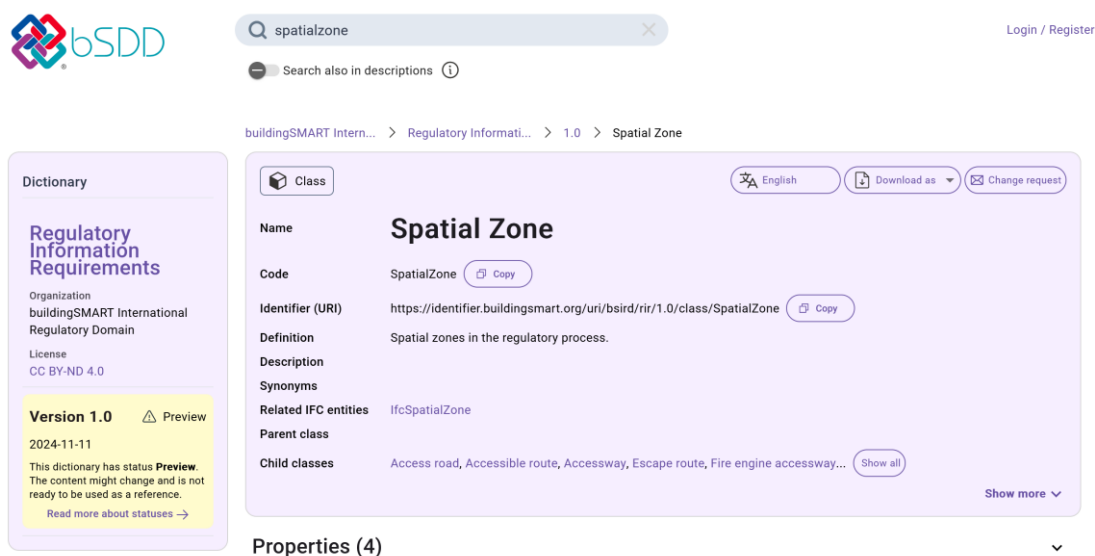


Figura 68 - Diagrama hierárquico mostrando a estrutura de arquivos IFC e classificação dos elementos do edifício

### 3.5.2 Estruturação da compartimentação corta-fogo em IFC

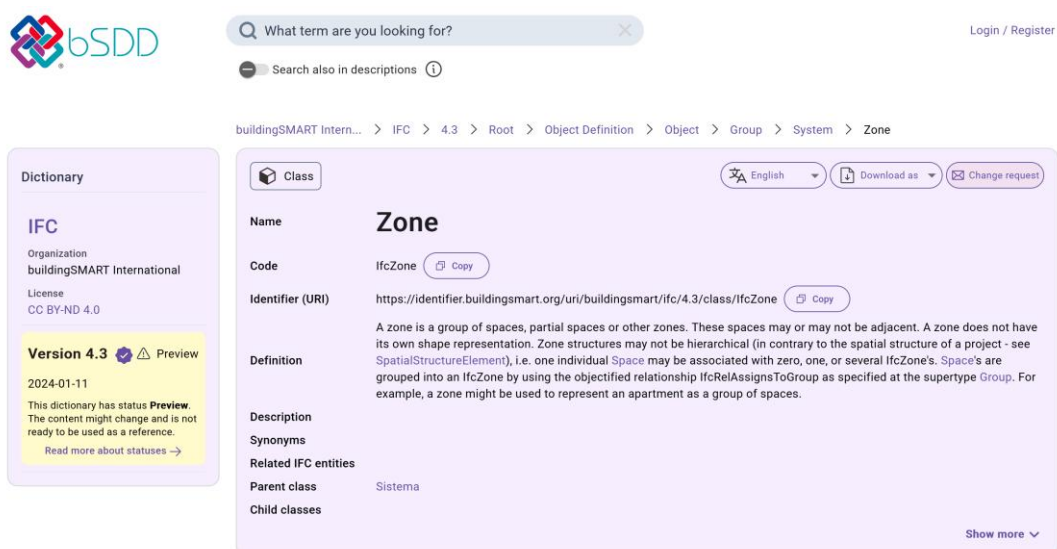
A estruturação adequada da informação da compartimentação corta-fogo no formato IFC exige uma compreensão profunda das entidades espaciais disponíveis e das suas capacidades específicas. A escolha entre *IfcSpatialZone* (Figura 69), e *IfcZone* (Figura 70) condiciona significativamente a forma como a informação é organizada e como pode ser posteriormente utilizada por ferramentas de análise e verificação automática.



The screenshot shows the bsDD dictionary interface. The search bar contains 'spatialzone'. The left sidebar displays the 'Regulatory Information Requirements' dictionary, version 1.0, dated 2024-11-11. The main content area shows the class 'Spatial Zone' with the following details:

- Name:** Spatial Zone
- Code:** SpatialZone
- Identifier (URI):** <https://identifier.buildingsmart.org/uri/bsird/rir/1.0/class/SpatialZone>
- Definition:** Spatial zones in the regulatory process.
- Description:**
- Synonyms:**
- Related IFC entities:** *IfcSpatialZone*
- Parent class:**
- Child classes:** Access road, Accessible route, Accessway, Escape route, Fire engine accessway...

Figura 69 - A classe *IfcSpatialZone* apresentada no dicionário da buildingSMART (bsDD)



The screenshot shows the bsDD dictionary interface. The search bar contains 'What term are you looking for?'. The left sidebar displays the 'IFC' dictionary, version 4.3, dated 2024-01-11. The main content area shows the class 'Zone' with the following details:

- Name:** Zone
- Code:** IfcZone
- Identifier (URI):** <https://identifier.buildingsmart.org/uri/buildingsmart/ifc/4.3/class/IfcZone>
- Definition:** A zone is a group of spaces, partial spaces or other zones. These spaces may or may not be adjacent. A zone does not have its own shape representation. Zone structures may not be hierarchical (in contrary to the spatial structure of a project - see *SpatialStructureElement*), i.e. one individual *Space* may be associated with zero, one, or several *IfcZone*'s. *Space*'s are grouped into an *IfcZone* by using the objectified relationship *IfcRelAssignsToGroup* as specified at the supertype *Group*. For example, a zone might be used to represent an apartment as a group of spaces.
- Description:**
- Synonyms:**
- Related IFC entities:**
- Parent class:** Sistema
- Child classes:**

Figura 70 - A classe *IfcZone* apresentada no dicionário da buildingSMART(bsDD)

A entidade *IfcZone* constitui um agrupamento que permite associar um ou múltiplos espaços numa zona funcional comum. Esta entidade é especificamente recomendada pela criadora e fundadora do formato IFC, a *buildingSMART* (Figura 66), para representação de compartimentos corta-fogo, conforme indicado

na documentação oficial (buildingSMART, 2025) que refere: “*One of the purposes of a zone is to define a fire compartmentation*”. A *IfcZone* permite a criação de agrupamentos hierárquicos não restritivos, onde um espaço individual pode pertencer a múltiplas zonas simultaneamente. Porém com o uso da *IfcZone* os espaços não tem representação da sua geometria quando exportadas para IFC, no entanto com o uso dos parâmetros já documentados no *Autodesk Revit* esta limitação de exportação não é gravosa para a análise da compartimentação corta-fogo.

Por outro lado, a entidade *IfcSpatialZone* foi introduzida em versões mais recentes do IFC especificamente para representar zonas funcionais que podem transcender as limitações geométricas dos espaços convencionais. A *IfcSpatialZone* oferece maior flexibilidade na definição de zonas complexas, suportando sobreposições e configurações geométricos irregulares. Ao contrário da *IfcZone*, a *IfcSpatialZone* permite a posicionamento e representação da forma dos espaços.

Face a esta análise comparativa, optou-se pela implementação da entidade *IfcZone* por razões de compatibilidade e maturidade tecnológica. Esta decisão fundamenta-se em dois fatores críticos:

- A *IfcZone* representa uma solução maturada e amplamente testada na indústria BIM;
- No *ArchiCAD*, que como já referido é utilizado por diversas empresas, ainda não oferece suporte completo para exportação no formato *IfcSpatialZone*, limitando-se exclusivamente ao *IfcZone*.

Note-se que, embora a ausência de representação geométrica da *IfcZone* após exportação constitua uma limitação técnica, esta não prejudica os objetivos da compartimentação corta-fogo. De facto, a informação essencial, nomeadamente, a associação de espaços aos respetivos compartimentos e exportação dos parâmetros dos mesmos, permanece e acessível para análises regulamentares e de SCIE.

### **3.5.3 Parâmetros utilizados**

A implementação eficaz de informações de SCIE em modelos BIM, nomeadamente, dos parâmetros, já discriminados anteriormente (Subcapítulo 0). Constitui a fundação sobre a qual se vão basear todos os cálculos regulamentares e as análises de conformidade.

Os vários parâmetros utilizados encontram-se na Tabela 11, descritos pela propriedade que recolhem, o seu parâmetro para extração em IFC e informações relevantes.

Tabela 11 - Lista das propriedades necessárias com os seus respectivos parâmetros e observações

Propriedades (Objects)	Parâmetro	Observações
Utilização-Tipo	<i>OccupancyType</i>	Nativo ao IFC, entrada via lista de escolha
Locais de Risco	<i>FireRiskFactor</i>	Nativo ao IFC, entrada via lista de escolha
Categorias de Risco da UT	<i>OTCategory</i>	Personalizado, entrada via lista de escolha
Altura da UT	<i>OTHeight</i>	Personalizado
Nº de pisos abaixo do plano de referência	<i>LevelsBelowPlane</i>	Personalizado, entrada pelo utilizador
Área Bruta	<i>GrossArea</i>	Nativo ao IFC, entrada automática a partir da <i>Area Tool</i>
Coberto ou Ar Livre	<i>Outdoor</i>	Personalizado, entrada como V/F
Efetivo	<i>OccupancyNumber</i>	Nativo ao IFC, entrada pelo utilizador
Efetivo em Locais de Risco D e E	<i>OccupancyNumber_DE,</i>	Personalizado, entrada pelo utilizador se necessário
Densidade de carga de incêndio modificada	<i>FireDensity</i>	Personalizado, entrada pelo utilizador

Para incorporar estes parâmetros no *Autodesk Revit*, seguiram-se os seguintes procedimentos:

1. Definição de *Shared Parameters*

- Na janela *Manage -> Shared Parameters*, foi criado um ficheiro de parâmetros partilhados onde se adicionaram todos os parâmetros personalizados, (Figura 71), e os nativos ao ficheiro, assegurando que cada um o tipo de dados correto (texto, número inteiro, booleano, área, etc).

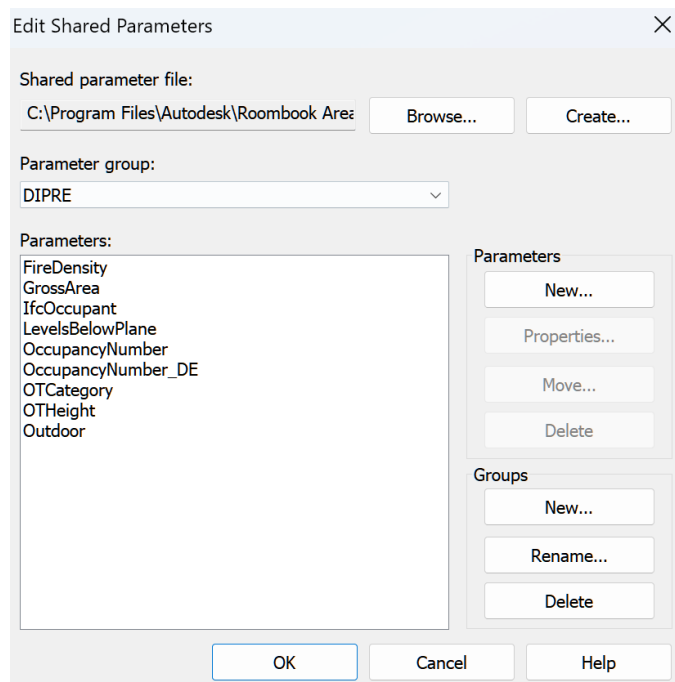


Figura 71 - Shared parameters no Autodesk Revit

## 2. Associação aos Project Parameters

- Em *Manage* -> *Project Parameters* foi utilizado o botão *Add* para ligar cada *Shared parameter* criado ao projeto. Para cada parâmetro, também é configurado a sua categoria, neste caso é escolhido as *Áreas*, e o seu grupo onde vai ser visível nas propriedades

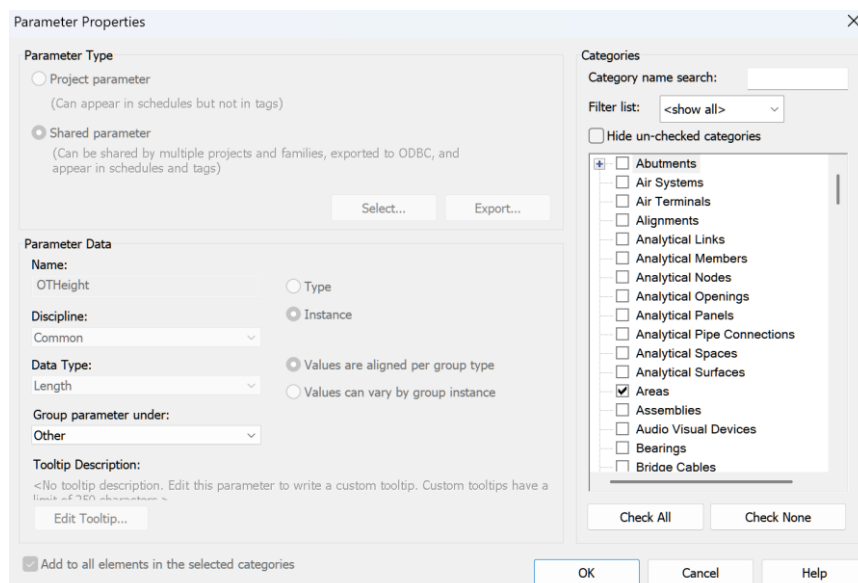


Figura 72 - Criação do project parameters e as suas propriedades

### 3. Verificação na Vista das propriedades das Áreas

- Após a configuração, seleciona-se uma área no modelo para confirmar, no painel de propriedades, (Figura 73), que cada parâmetro surge no grupo definido

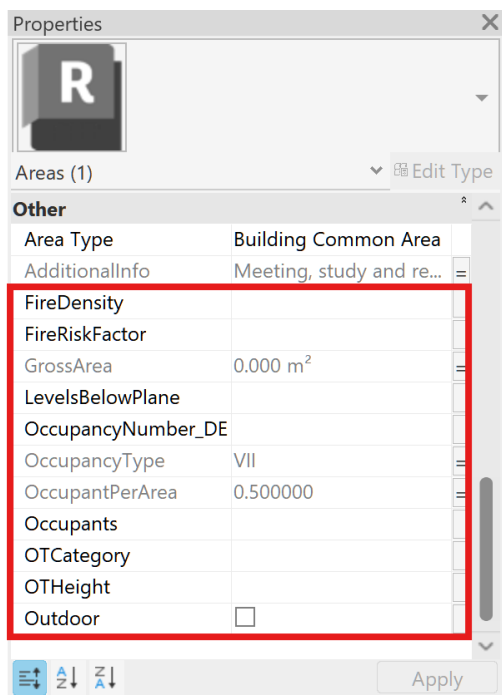


Figura 73 - Parâmetros visíveis nas propriedades de uma área no Autodesk Revit

Foram criadas também várias *Schedules/Quantities* (Figura 74, Figura 75 e Figura 76), no *Autodesk Revit* de modo a disponibilizar listas de valores nos parâmetros, garantindo que o utilizador possa seleccionar as opções de forma simples e fiável.

B	C
Occupant	OccupancyType
Administrative	III
Commercial and transport stations	VIII
Hospitals and nursing homes	V
Hoteliers and restaurants	VII
Housing	I
Industrial, workshops and warehouses	XII
Libraries and archives	XI
Museums and art galleries	X
Parking	II
School	IV
Shows and public meetings	VI
Sports and Leisure	IX

Figura 74 - Lista onde é enumerada as Utilização-tipo (C) e as suas ocupações (B)

AdditionalInfo	OccupantPerArea
Art gallery exhibition spaces	0.7
Bars "standing room consumption area"	2
Boarding platforms	3
Changing rooms and changing rooms used by the public	1
Common rooms, cafeterias and food and beverage courts with permanent or occasional seats	1
Diagnostic and therapeutic rooms	0.2
Drawing rooms and laboratories	0.2
Emergency rooms and benches	0.3
Exclusive changing rooms and changing rooms for employees	0.3
Exhibition spaces for scientific and technical dissemination	0.35
Games and entertainment rooms "public spaces"	1
Horizontal circulations and common spaces of commercial establishments	0.2
Low occupancy sales locations	0.2
Meeting, study and reading rooms without fixed seating or lounges	0.5
Museum exhibition spaces	0.35
Non-specialized teaching spaces	0.6
Office cabinets	0.1
Office rooms and secretariats	0.2
Reading rooms without fixed seats in libraries	0.2
Sales locations located more than one floor above the reference plane	0.2
Sales locations located on the floor of the reference plan with an area greater than 300 m2	0.6
Sales locations located on the floor of the reference plan with an area less than or equal to 3	0.5
Sales locations located up to one floor above or below the reference plane	0.35
Spaces allocated for dance floors in halls and nightclubs	3
Spaces in oceanariums, aquariums, gardens and zoological or botanical parks	1
Spaces occupied by the public in other exhibition or fair venues	3
Spaces reserved for standing places, in buildings, tents or inflatable structures, conference,	3
Surgical and delivery rooms	0.1
Waiting rooms for examinations and consultations	1
Waiting rooms in stations and departure lounges	1
"Gymno-sports" activity area	0.15

Figura 75 - Seleção do índice de efetivo para calculo do mesmo

B
FireRiskFactor
A
B
C
D
E
F

Figura 76 - Lista dos Locais de risco

Esta estrutura paramétrica garante que a informação extraída dos modelos BIM seja suficiente e adequada para suportar análises regulamentares completas, mantendo a flexibilidade necessária para diferentes contextos normativos e tipologias construtivas.

## 4 Ferramentas de apoio à decisão

No seguimento da automatização implementada em *Dynamo* (Capítulo 3.4), e da modelação em *Autodesk Revit* (Capítulo 3), o próximo passo no estágio foi a conceção de ferramentas de apoio à decisão que visam orientar o utilizador (arquitetos, engenheiros civis e técnicos de SCIE), na definição e classificação dos compartimentos corta-fogo. Para tal, foi elaborado fluxogramas que integra três aspetos fundamentais, assegurando uma leitura lógica e sequencial das disposições regulamentares. Desenvolveram-se de raiz questionários em HTML, com estrutura baseada nos fluxogramas, de modo a recolher os dados de obtenção dos resultados pretendidos. Estes formulários online foram posteriormente testados por técnicos de segurança contra incêndio, obtendo-se *feedback* positivo relativamente à clareza das instruções e à fiabilidade das respostas, o que confirma a eficácia desta abordagem híbrida de modelação geométrica e suporte à decisão.

### 4.1 Fluxograma

Os fluxogramas constituem um instrumento essencial na simplificação de processos complexos, permitindo ao utilizador seguir um caminho lógico sem perder de vista as normas regulamentares. Através de diagramas claros e sequenciais, elimina-se grande parte da incerteza relacionada a procedimentos manuais, reduzindo erros e diminuindo significativamente o tempo de decisão do utilizador.

Durante a elaboração dos fluxogramas, estabeleceu-se um diálogo direto com técnicos de segurança contra incêndio, o que possibilitou a incorporação de nuances práticas e interpretações reais dos Decretos-Lei.

O fluxograma global (Anexo III), integra três subprocessos fundamentais: classificação do local de risco, classificação das categorias de risco de UT e a determinação da área máxima de compartimentação corta-fogo. Note-se que todos estes subprocessos enumerado estão ligados entre si, com diferentes processos e decisões que orientam o utilizador até à solução final.

O fluxograma (Figura 77) inicia-se, com:

1. Seleção do piso para análise;
2. Criação, pelo utilizador, de zonas para a classificação da Utilização-Tipo (Capítulo 2.2.2.1).

Em seguida, o fluxograma direciona para um nó de verificação se as variáveis necessárias estão disponíveis, (Tabela 2). Caso alguma variável não esteja disponível, o fluxo aponta para a recolha dos

dados em falta; se estiverem todas presentes, procede-se à continuação no fluxograma.

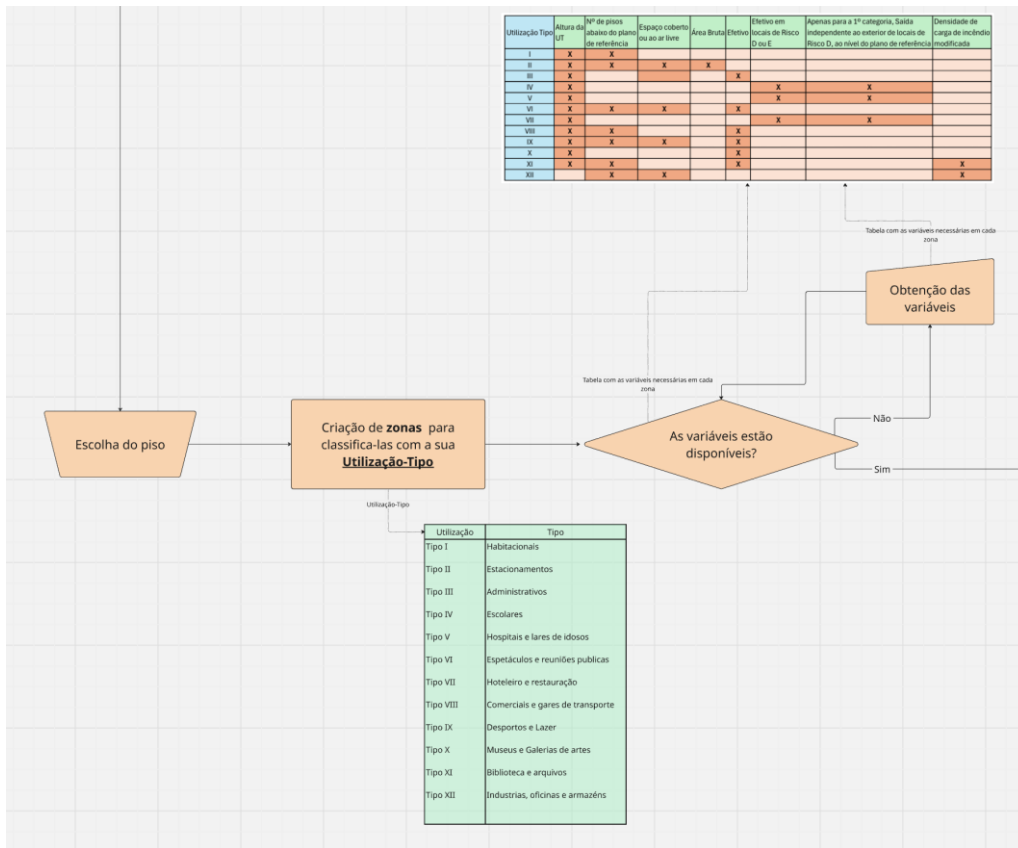


Figura 77 - 1º conjunto de nós no fluxograma

No segundo segmento do fluxograma (Figura 78), após confirmar que as zonas foram criadas e classificadas pelo sua UT, o utilizador deve criar subdivisões e verificar se cada uma se encontra rotulada com os uso específico, como fogos de habitação, vias horizontais/verticais, câmaras corta-fogo, dutos/couretes, elevadores, zonas de refúgio, instalações sanitárias e espaços de outro uso.

Se algumas subdivisões não estiverem identificadas, o fluxo direciona para a criação da etiquetagem dessas subzonas, assegurando a cobertura de todos os elementos relevantes à compartimentação. Note-se que, se todas estiverem devidamente rotuladas, segue-se a aplicação dos índices de efetivo conforme o Quadro XXVII (Portaria n.o 135/2020), que estabelece o número de ocupantes por metro quadrado, em função do uso de cada subdivisão. Na eventualidade do uso específico da subdivisão não estiver contemplado no Quadro XXVII, o utilizador define o índice.

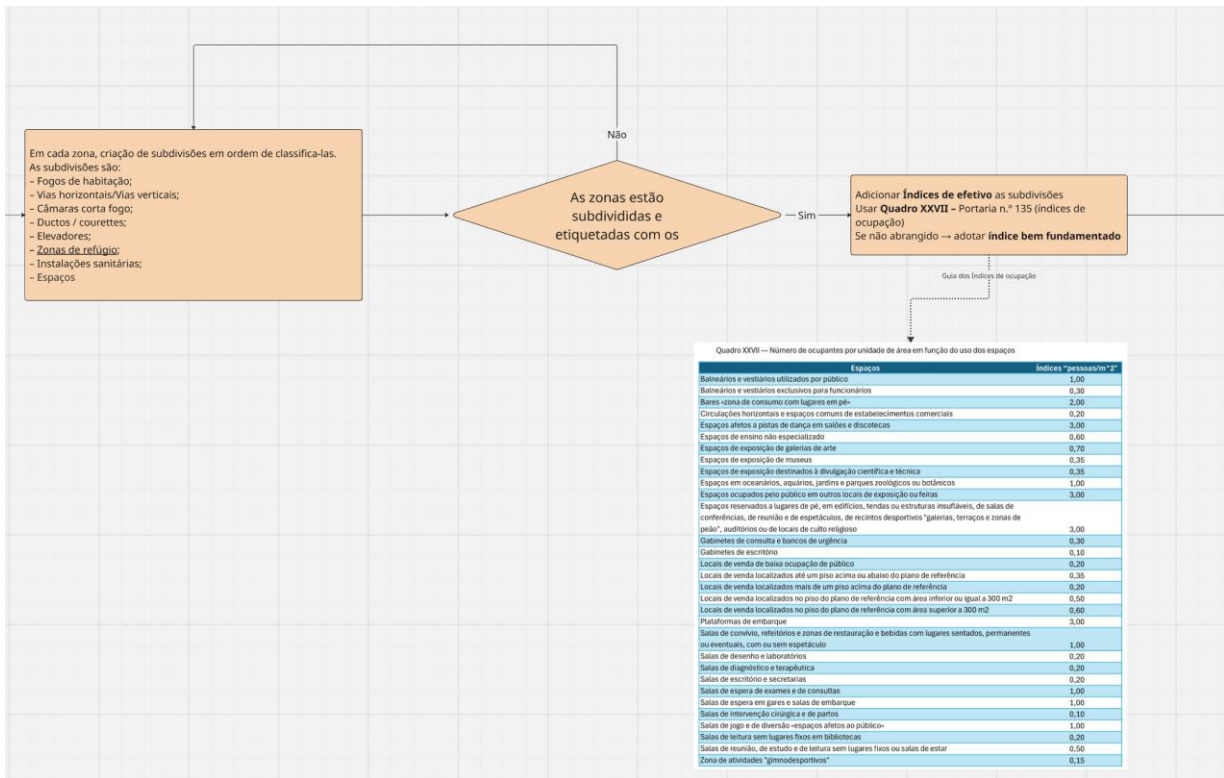


Figura 78 - 2º conjunto de nós no fluxograma

O terceiro conjunto de nós do fluxograma (Figura 79), consolida o processo de cálculo do efetivo através da verificação e aplicação das normas específicas definidas no Artigo n.º 51 da Portaria n.º 135.

Após a consolidação regulamentar, o fluxograma verifica se todas as variáveis necessárias estão disponíveis nas subdivisões previamente criadas, como o uso específico da divisão, o seu efetivo e efetivo público, que tipo de pessoas utiliza a divisão e se tem riscos agravados. Caso algum elemento em falta seja detetado, o fluxo direciona o utilizador para a obtenção dessas variáveis.

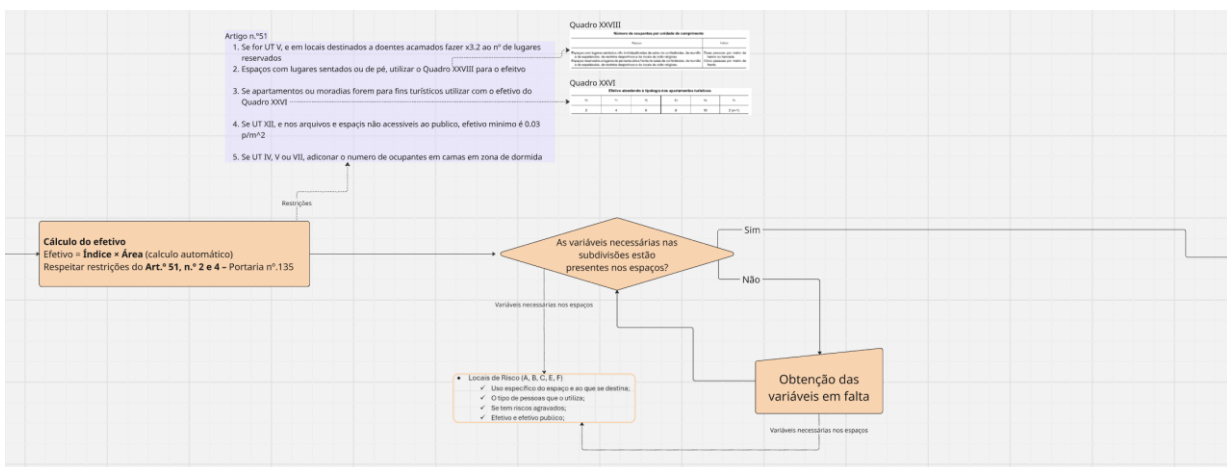


Figura 79 - 3º conjunto de nós do fluxograma

No último conjunto de nós, (Figura 80), o fluxo é subdividido em três etapas essenciais que devem ser seguidas rigorosamente pela ordem apresentada:

- 1 Classificação do local de risco de cada subdivisão (Capítulo 4.1.1);
- 2 Classificação da categoria de risco da UT (Capítulo 4.1.2);
- 3 Determinação da área máxima do compartimento corta-fogo (Capítulo 4.1.3).

Esta ordem lógica é crucial para assegurar a integridade dos dados, uma vez que previne a falta de informações que podem condicionar a precisão dos respetivos fluxogramas.

Nos capítulos subsequentes, cada um destes fluxogramas será apresentado em detalhe.

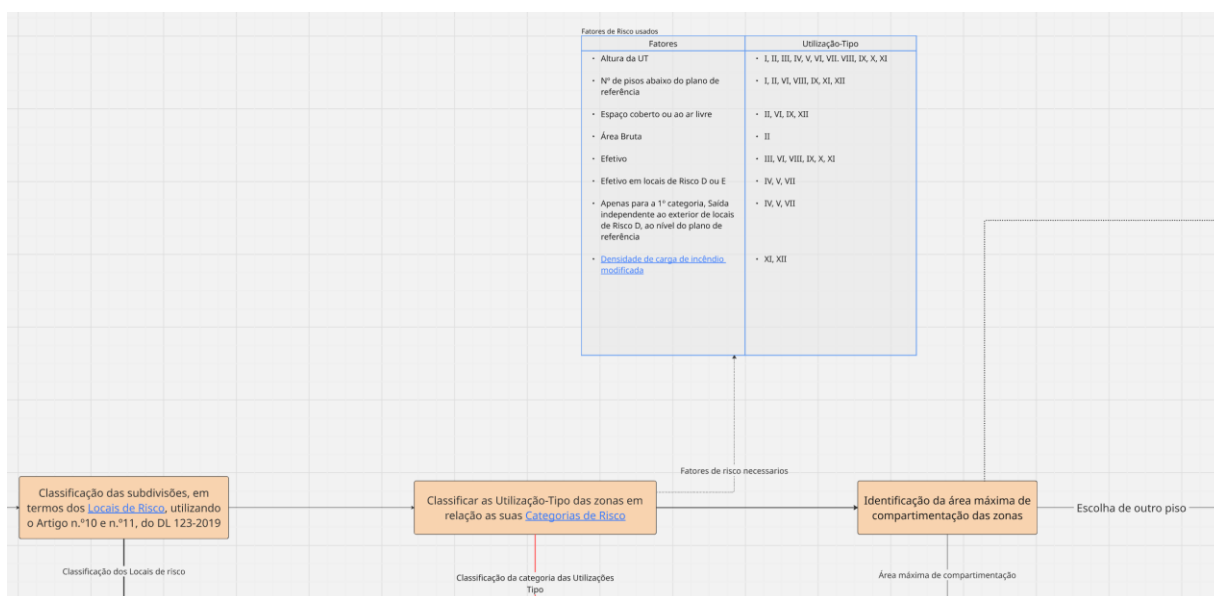


Figura 80 - 4º conjunto de nós do fluxograma

#### 4.1.1 Classificação dos Locais de Risco

Antes da apresentação do fluxograma de classificação dos Locais de Risco, importa esclarecer a questão relativa à possibilidade de agregação dos locais de risco. De acordo com o enquadramento regulamentar, apenas se encontram previstas duas situações: a reclassificação automática dos locais de risco A como B e a agregação de locais de risco D e E, no caso de “grupos de quartos”, nos termos do Artigo 10.º, n.º 4. Embora se reconheça que, em determinadas situações de projeto, os técnicos de SCIE optem por estender o princípio da agregação a outros casos, nomeadamente a locais de risco B, C ou F, tal prática não se encontra formalmente consagrada na legislação.

Por esse motivo, a metodologia aqui adotada contempla unicamente os casos expressamente previstos no enquadramento regulamentar.

Pondo isto, o fluxograma para a classificação dos Locais de Risco (Figura 81) inicia-se, com a seleção de uma das subdivisões. A partir dessa escolha, questiona-se se o espaço em causa corresponde a um dos exemplos ilustrados no Lei n.º 123/2019, artigo n.º10, como por exemplo fogos, vias horizontais/verticais, IS, elevadores, câmaras corta-fogo, etc.

- Se a resposta for afirmativa, o fluxograma determina que não se aplica a classificação de local de risco.
- Se a resposta for negativa, segue-se um segundo nó que avalia se o espaço serve como meios ou sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes, como centros de comando, bombeamento, comunicações críticas, postos de segurança, entre outros).
  - a. Se for afirmativo, atribui-se a classificação Local de Risco F. Note-se que esta é a classificação mais elevada e relacionada diretamente com a importância estratégica desses serviços;
  - b. Se também não se verificar esta condição, prossegue-se com o fluxograma.

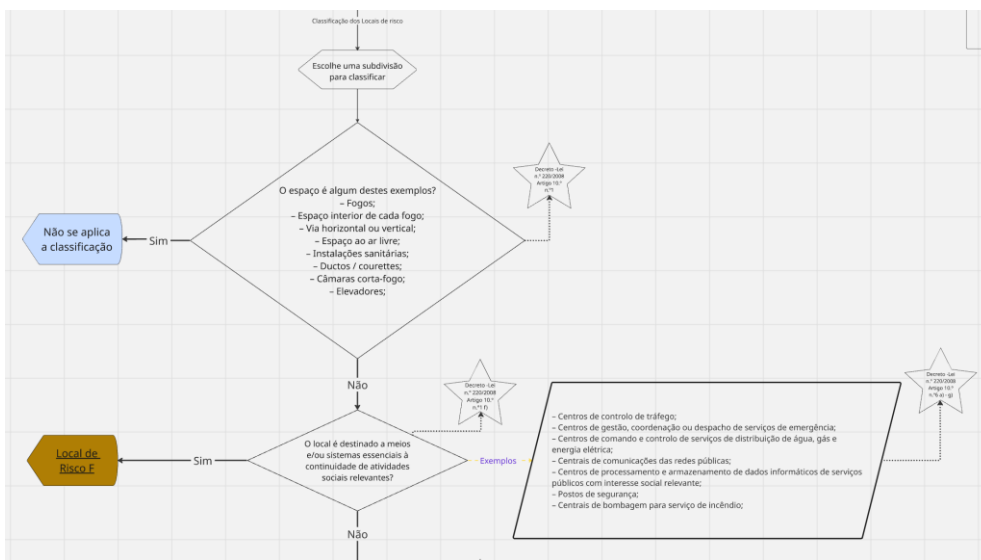


Figura 81 - Início do fluxograma de classificação dos Locais de Risco

O segundo conjunto do fluxograma (Figura 82) analisa os espaços ainda não classificados, em três etapas sucessivas:

1. Verificação se o espaço é destinado a dormida.
  - Se a resposta for positiva, pergunta-se se mais de 10% dos ocupantes, que dormem nesse local tem limitações, se afirmativo, classifica-se como Local de Risco D, se negativo tem-se Local de Risco E.
2. Avaliação dos ocupantes, se não for destinado a dormida.
  - Se a resposta na etapa 1 for negativa, investiga-se se o espaço se destina a pessoas

acamadas, crianças até três anos ou utentes com mobilidade reduzida sem perceção/reação a alarmes adequados. Em caso positivo, a designação é Local de Risco D, em caso negativo continua-se o fluxo do diagrama.

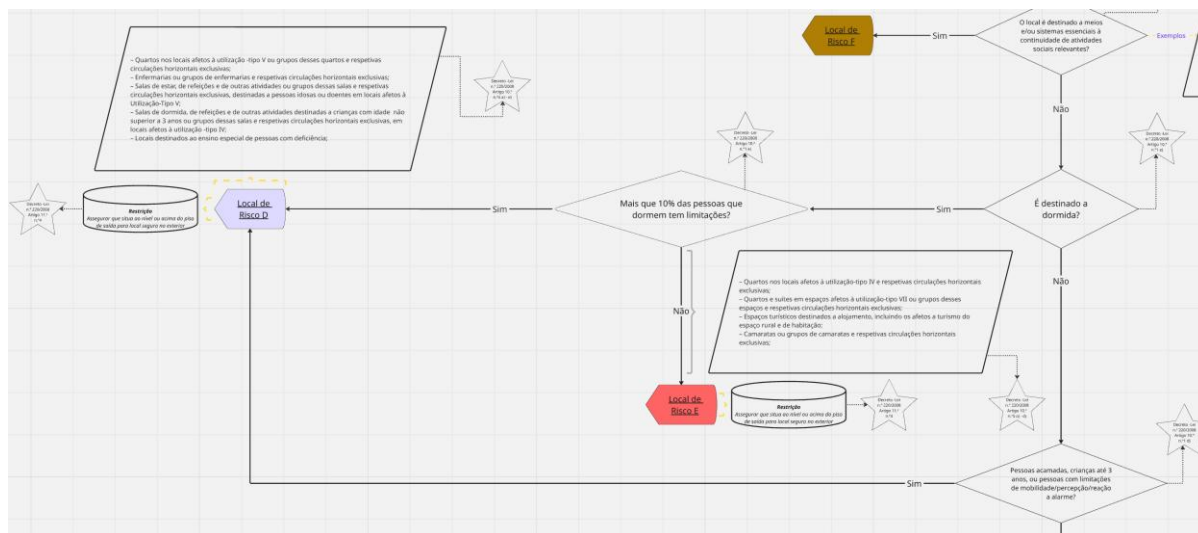


Figura 82 - 2º conjunto de nós do fluxograma de classificação de locais de risco

Na terceira secção do fluxograma (Figura 83), quando a resposta à questão anterior sobre pessoas acamadas, crianças até três anos ou utentes com mobilidade reduzida for negativa, o processo conduz a uma avaliação de riscos agravados (Tabela 12).

Primeiramente, questiona-se se o local apresenta riscos agravados (Tabela 12). Em caso afirmativo, prossegue-se para a verificação que determina se esses riscos excedem determinados valores críticos, estes são:

- Volume superior a 600m<sup>3</sup>;
- Carga de incêndio modificada superior a 20000 MJ;
- Potência de equipamentos elétricos superior a 250kW;
- Equipamentos alimentados a gás superiores a 70kW;
- Produção, depósito, armazenagem ou manipulação de líquidos inflamáveis superior a 100L.

Se qualquer um destes valores for ultrapassado, classifica-se o local como Local de Risco C agravado (C+), em caso que os valores se situem abaixo destes limites, atribui-se a designação Local de Risco C.

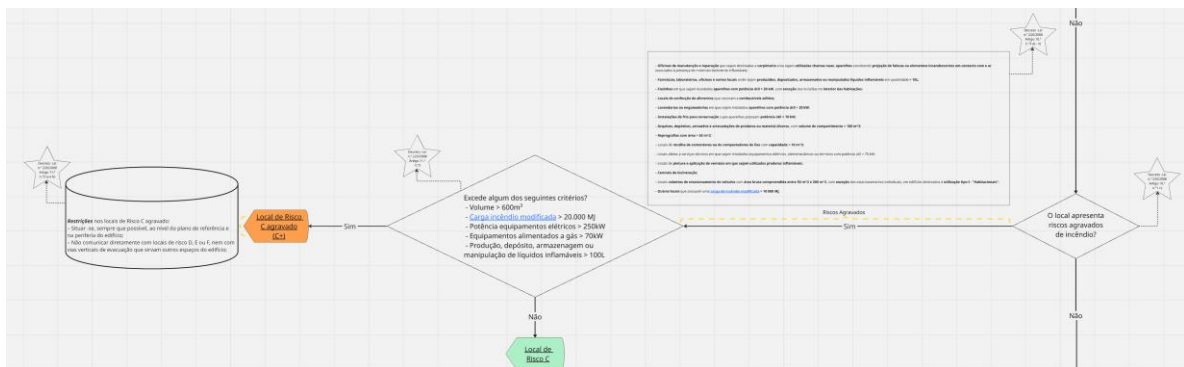


Figura 83 - 3º conjunto de nós do fluxograma de classificação de locais de risco

Tabela 12 - Riscos agravados

- <b>Oficinas de manutenção e reparação</b> que sejam destinadas a <b>carpintaria</b> e/ou sejam <b>utilizadas chamas nuas, aparelhos envolvendo projeção de faíscas ou elementos incandescentes em contacto com o ar</b> associados à presença de materiais facilmente inflamáveis;
- <b>Farmácias, laboratórios, oficinas e outros locais</b> onde sejam <b>produzidos, depositados, armazenados ou manipulados líquidos inflamáveis</b> em quantidade > <b>10L</b> ;
- <b>Cozinhas</b> em que sejam instalados <b>aparelhos com potência útil &gt; 20 kW</b> , com exceção das incluídas no <b>interior das habitações</b> ;
- <b>Locais de confecção de alimentos</b> que recorram a <b>combustíveis sólidos</b> ;
- <b>Lavandarias ou engomadorias</b> em que sejam instalados <b>aparelhos com potência útil &gt; 20 kW</b> ;
- <b>Instalações de frio para conservação</b> cujos aparelhos possuam <b>potência útil &gt; 70 kW</b> ;
- <b>Arquivos, depósitos, armazéns e arrecadações de produtos ou material diverso</b> , com <b>volume de compartimento &gt; 100 m<sup>3</sup></b> ;
- <b>Reprografias com área &gt; 50 m<sup>2</sup></b> ;
- <b>Locais de recolha de contentores ou de compactadores de lixo</b> com <b>capacidade &gt; 10 m<sup>3</sup></b> ;
- <b>Locais afetos a serviços técnicos</b> em que sejam instalados equipamentos elétricos, eletromecânicos ou térmicos com <b>potência útil &gt; 70 kW</b> ;
- <b>Locais de pintura e aplicação de vernizes</b> em que sejam utilizados <b>produtos inflamáveis</b> ;
- <b>Centrais de incineração</b> ;
- <b>Locais cobertos de estacionamento de veículos</b> com <b>área bruta compreendida entre 50 m<sup>2</sup> e 200 m<sup>2</sup></b> , com exceção dos estacionamentos individuais, em edifícios destinados à <b>utilização tipo I - "Habitacionais"</b> ;
- <b>Outros locais</b> que possuam uma carga de incêndio modificada > <b>10 000 MJ</b> ;

O quarto, e último, segmento do fluxograma de classificação dos locais de risco (Figura 84) inicia-se quando a resposta à questão sobre a existência de riscos agravados no local é negativa.

A verificação começa por questionar se o efetivo e o efetivo público são inferiores a 100 e 50 pessoas, respetivamente. Se ambas as condições se verificarem, classifica-se o local como Local de Risco A. Caso qualquer uma das condições não se verifique, atribui-se a classificação Local de Risco B.

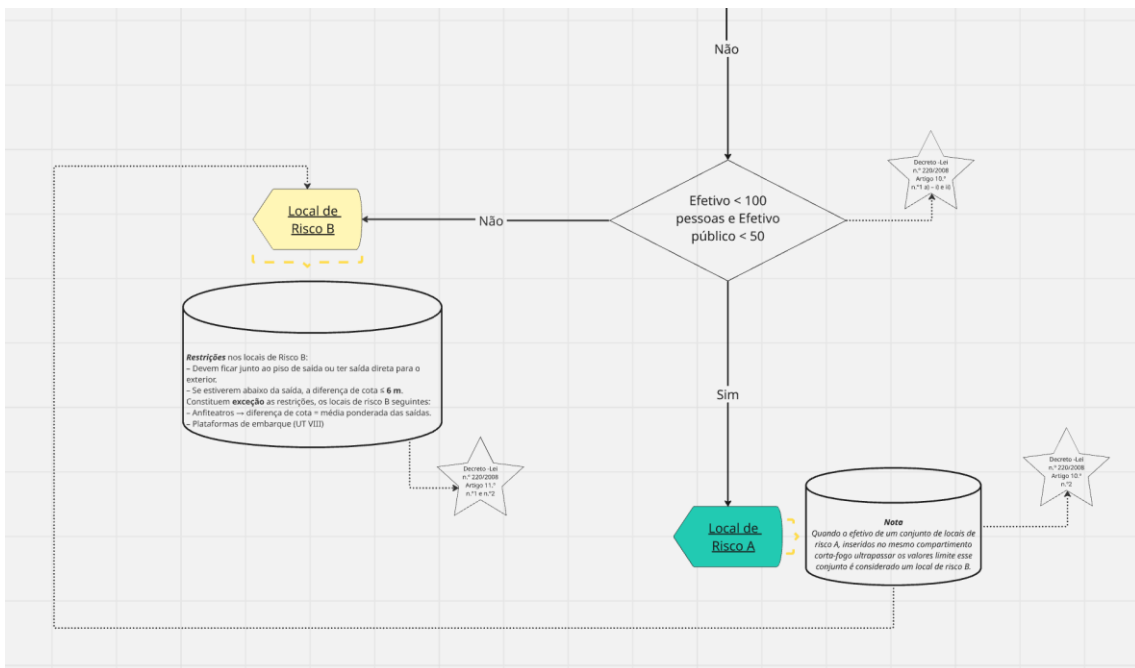


Figura 84 - Última parte do fluxograma de locais de risco

Note-se que, após a classificação de cada local segundo o respetivo local de risco, o fluxograma orienta o utilizador para as restrições específicas que condicionam cada local de risco.

Sendo estes os seguintes:

- Locais de risco A: quando o efetivo de um conjunto de locais de risco A, inseridos no mesmo compartimento corta-fogo, ultrapassar os valores limite estabelecidos (100 pessoas no total ou 50 pessoas de público), esse conjunto é automaticamente reclassificado como local de risco B;
- Locais de risco B: devem localizar-se junto ao piso de saída ou ter acesso direto ao exterior, se estiverem abaixo do nível das saídas, a diferença de cota não pode exceder 6 metros. Constituem exceções a estas limitações os anfiteatros (onde a diferença de cota corresponde à média ponderada das saídas) e as plataformas de embarque da utilização-tipo VIII;
- Locais de risco C agravado (C+): devem situar-se preferencialmente ao nível do plano de referência e na periferia do edifício; não podem comunicar diretamente com locais de risco D, E ou F, nem com vias verticais de evacuação que sirvam outros espaços;
- Locais de risco D e E: devem assegurar a sua localização ao nível ou acima do piso de saída para local seguro no exterior;
- Locais de risco F não estão sujeitos a restrições específicas de localização.

Esta metodologia de classificação dos locais de risco assegura uma análise precisa e fundamentada dos espaços. Simultaneamente, permite que os profissionais com menor experiência na regulamentação portuguesa de SCIE executem avaliações precisas e livres de omissões, minimizando erros de interpretação através de percursos lógicos claros e referências regulamentares diretas.

#### **4.1.2 Determinação de categorias de risco**

De seguida, após as classificações dos locais de risco, avança-se para a classificação das categorias de risco das UT, e para suportar essa execução, procedeu-se à transposição dos quadros do anexo III do Lei n.º 123/2019 (Anexo I) para um conjunto de fluxogramas. O utilizador é inicialmente convidado a escolher a Utilização-Tipo que pretende classificar e, de seguida, é encaminhado para o fluxograma dedicado, onde cada conjunto de nós representa uma condição ou intervalo de valores extraídos dos quadros normativos (área bruta, altura da UT, número de pisos ocupados pela UT abaixo do plano de referência, efetivo da UT, densidade de carga de incêndio modificada, etc.). Esta organização modular permite uma navegação intuitiva, garantindo que cada parâmetro seja avaliado na sequência correta até à conclusão da categoria de risco do local desejado.

No fluxograma da Utilização-Tipo I (Figura 85), o utilizador começa por verificar a altura da UT:

- Se for  $\leq 9$  m, segue-se para avaliar o número de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência:
  - $\leq 1$  piso -> 1ª Categoria;
  - 2 ou 3 pisos -> 2ª Categoria;
  - 4 ou 5 pisos -> 3ª Categoria;
  - $> 5$  pisos -> 4ª Categoria.
- Se for  $> 9$  m e  $\leq 28$  m, volta a analisar o número de pisos inferiores:
  - $\leq 3$  piso -> 2ª Categoria
  - 4 ou 5 pisos -> 3ª Categoria
  - $> 5$  pisos -> 4ª Categoria
- Se for  $> 28$  m e  $\leq 50$  m, volta a analisar o número de pisos inferiores:
  - $\leq 5$  piso -> 3ª Categoria
  - $> 5$  pisos -> 4ª Categoria
- Para alturas  $> 50$  m classifica-se diretamente como 4ª Categoria.

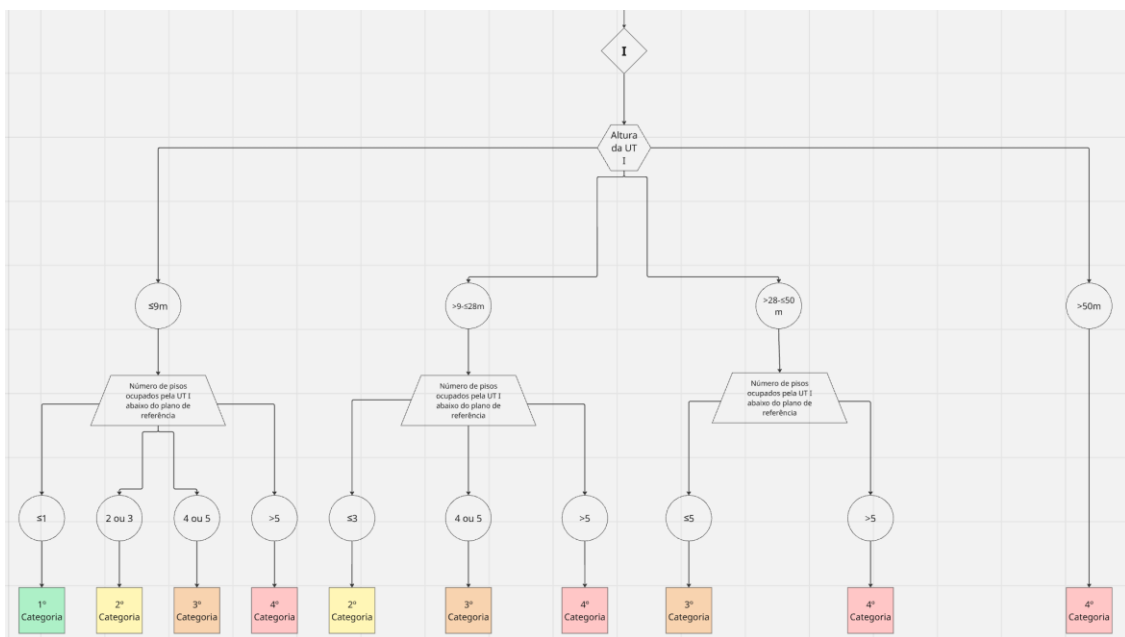


Figura 85 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo I

Para a Utilização-Tipo II, o fluxograma inicia-se com a pergunta se o local é ao ar livre, se for é automaticamente categorizada como 1ª Categoria.

Posteriormente é analisada a altura da UT do local:

- Se a altura for  $\leq 9$  m, verifica-se a área bruta ocupada pela UT:
  - Área  $\leq 3200$  m<sup>2</sup>, verifica-se o número de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência:
    - $\leq 1$  piso -> 1ª Categoria;
    - 2 ou 3 pisos -> 2ª Categoria;
    - 4 ou 5 pisos -> 3ª Categoria;
    - $> 5$  pisos -> 4ª Categoria.
  - Área entre  $3200$  m<sup>2</sup> e  $9600$  m<sup>2</sup> -> verifica-se o número de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência:
    - $\leq 3$  piso -> 2.ª Categoria;
    - 4 ou 5 pisos -> 3ª Categoria;
    - $> 5$  pisos -> 4ª Categoria.
  - Área entre  $9600$  m<sup>2</sup> e  $32000$  m<sup>2</sup> -> verifica-se o número de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência:
    - $\leq 5$  piso -> 3ª Categoria;
    - $> 5$  pisos -> 4ª Categoria.
  - Área  $> 32000$  m<sup>2</sup> -> 4ª Categoria.

- Se a altura for  $> 9\text{ m}$  e  $\leq 28\text{ m}$  -> verifica-se a área bruta ocupada pela UT:
  - Área  $\leq 9600\text{ m}^2$ , verifica-se o número de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência:
    - $\leq 3$  piso -> 2.ª Categoria;
    - 4 ou 5 pisos -> 3ª Categoria;
    - $> 5$  pisos -> 4ª Categoria.
  - Área entre  $9600\text{ m}^2$  e  $32000\text{ m}^2$  -> verifica-se o número de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência:
    - $\leq 5$  piso -> 3ª Categoria
    - $> 5$  pisos -> 4ª Categoria
  - Área  $> 32000\text{ m}^2$  -> 4ª Categoria.
- Para alturas  $> 28\text{ m}$  classifica-se diretamente como 4.ª Categoria.

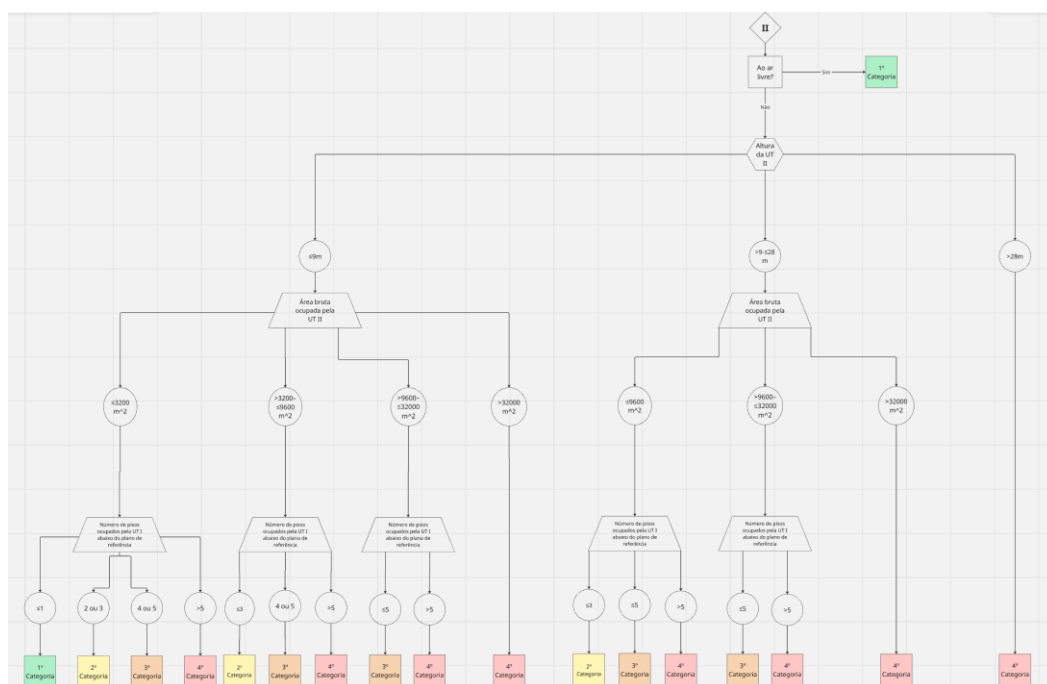


Figura 86 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo II

Esta estrutura de fluxograma assegura que todos os parâmetros são considerados sequencialmente conforme as disposições do Anexo III, garantindo uma classificação precisa e fundamentada para todas as utilizações-tipo.

Os fluxogramas das restantes Utilizações-Tipo (III a XII) seguem disponíveis no Anexo III.

### 4.1.3 Definição das áreas máximas de compartimentação

Após a conclusão da classificação das categorias de risco para cada Utilização-Tipo, chega-se ao objetivo principal e final do fluxograma global, a determinação da área máxima de compartimentação corta-fogo. Através de um fluxograma (Figura 87) estabelece-se, com base nos artigos n.º 18 e n.º 302 da Portaria n.º 135/2020, o limite máximo da área para cada compartimento corta-fogo.

O fluxograma final consolida todas as decisões anteriores, começando primeiro por se verificar se a Utilização-Tipo é do tipo I, III, VI, VII, VIII, IX ou X:

- Em caso afirmativo, a área máxima é 1600 m<sup>2</sup>.
- Se não, o utilizador confirma se trata de Utilização-Tipo II.
  - Se sim, avalia-se o espaço em termos da sua localização acima ou no plano de referência:
    - Acima e no plano -> área máxima 6400 m<sup>2</sup>
    - Abaixo do plano -> área máxima 3200 m<sup>2</sup>
- Quando não for UT II, segue-se para verificar se, se trata de UT IV ou V. Se sim, o utilizador é questionado se o compartimento contém Locais de Risco D:
  - Com Locais de Risco D -> área máxima 800 m<sup>2</sup>;
  - Sem Locais de Risco D -> área máxima é 1600 m<sup>2</sup>.
- Caso não seja UT IV ou V, confirma-se se é UT XI.
  - Se sim, avalia-se o espaço em termos da sua localização acima ou no plano de referência:
    - Acima e no plano -> área máxima 800 m<sup>2</sup>
    - Abaixo do plano -> área máxima 400 m<sup>2</sup>
- Por fim, para a UT XII aplica-se o artigo 302.º (Figura 88) para a área máxima específica dessa utilização-tipo (Capítulo 2.2.3).

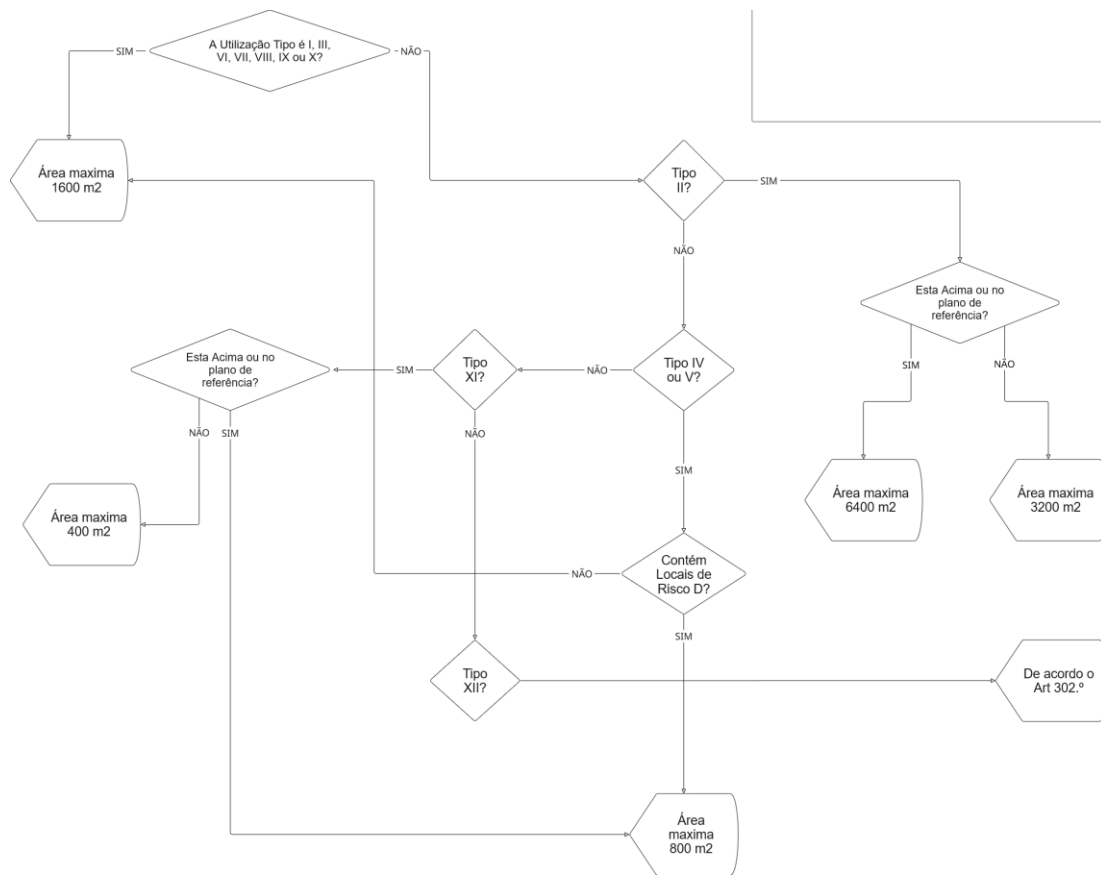


Figura 87 - Fluxograma para definição das áreas máximas de compartimentação corta-fogo

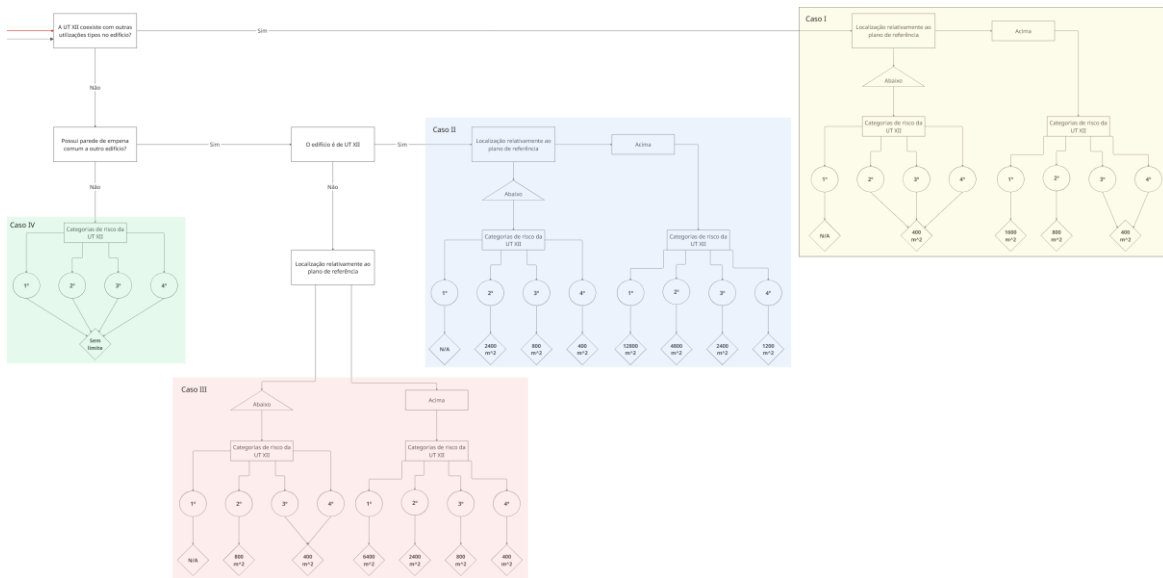


Figura 88 - Fluxograma para aplicar o Artigo n.º 302 da Portaria 123/2020

## 4.2 Classificadores online

Para tornar mais acessível e rápido o processo de classificação definido nos fluxogramas criados (Capítulo 4.1), foram desenvolvidos três questionários interativos em linguagem HTML, cada um dedicado a um dos temas centrais:

- Locais de Risco (Figura 89);
- Categorias de Risco das Utilizações-Tipo (Figura 90);
- Áreas Máximas de Compartimentação Corta-Fogo (Figura 91).

**Classificador SCIE - Portugal**  
Sistema de Classificação de Locais de Risco (Lei n.º 123/2019 & Portaria n.º 135/2020)

**Tipo de Local a Classificar**  
Escolha a subdivisão/compartimento a classificar:

**Nota Legal**  
Fogos, espaços internos de fogos, vias horizontais/verticais e espaços ao ar livre não são classificados (Lei n.º 123/2019, art. 10.º).

Subdivisão específica de um edifício  
Ex: sala, compartimento, zona funcional interna

Fogos, espaço interior de fogo, via horizontal/vertical, espaço ao ar livre, instalações sanitárias, Ductos/courettes, Câmaras Corta fogo e Elevadores  
Estes espaços não são classificados como locais de risco.

[Ver Classificação](#)

Figura 89 - Classificador online dos locais de Risco

**Classificador SCIE - Portugal**  
Sistema de Classificação de Categorias de Risco (Decreto-Lei 220/2008 & Portaria 135/2020)

**Selecione a Utilização-Tipo**  
Escolha a utilização-tipo que melhor descreve o seu edifício ou espaço:

UT I Habitacionais	UT II Estacionamentos	UT III Administrativos
UT IV Escolares	UT V Hospitalares e lares de idosos	UT VI Espetáculos e reuniões públicas
UT VII Hoteleiros e restauração	UT VIII Comerciais e gares de transportes	UT IX Desportivos e de lazer
UT X Museus e galerias de arte	UT XI Bibliotecas e arquivos	UT XII Industriais, oficinas e armazéns

Figura 90 - Classificador online das Categorias de Risco das UT

Figura 91 - Classificador online das Áreas máximas de compartimentação corta-fogo

Cada classificador replica a lógica dos respetivos fluxogramas criados anteriormente (Capítulo 4.1), apresentando ao utilizador apenas as perguntas relevantes em função das respostas anteriores. Por exemplo, no questionário da classificação dos Locais de Risco, no primeiro ecrã (Figura 89), o utilizador deve indicar se o espaço corresponde a uma divisão específica do edifício ou a um dos seguintes tipos: fogo, espaço interior de cada fogo, via horizontal/vertical, espaço ao ar livre, instalação sanitária, ductos/courettes, câmaras corta-fogo ou elevadores. Se seleccionar, por exemplo, a segunda opção, o sistema vai informa que essa categoria de local não está sujeita a classificação de locais de risco e por isso é não aplicável (Figura 92). Caso o utilizador escolha a outra opção, o formulário avança para uma nova página onde pergunta se o local a classificar presta serviços essenciais (Figura 93), se a resposta for afirmativa, classifica-se como Local de Risco F (Figura 94), em caso negativo, o questionário prossegue para a pergunta seguinte, e assim continua até chegar à classificação (A, B, C, C+, D, E).

Figura 92 - Classificador a mostrar não aplicável como resposta

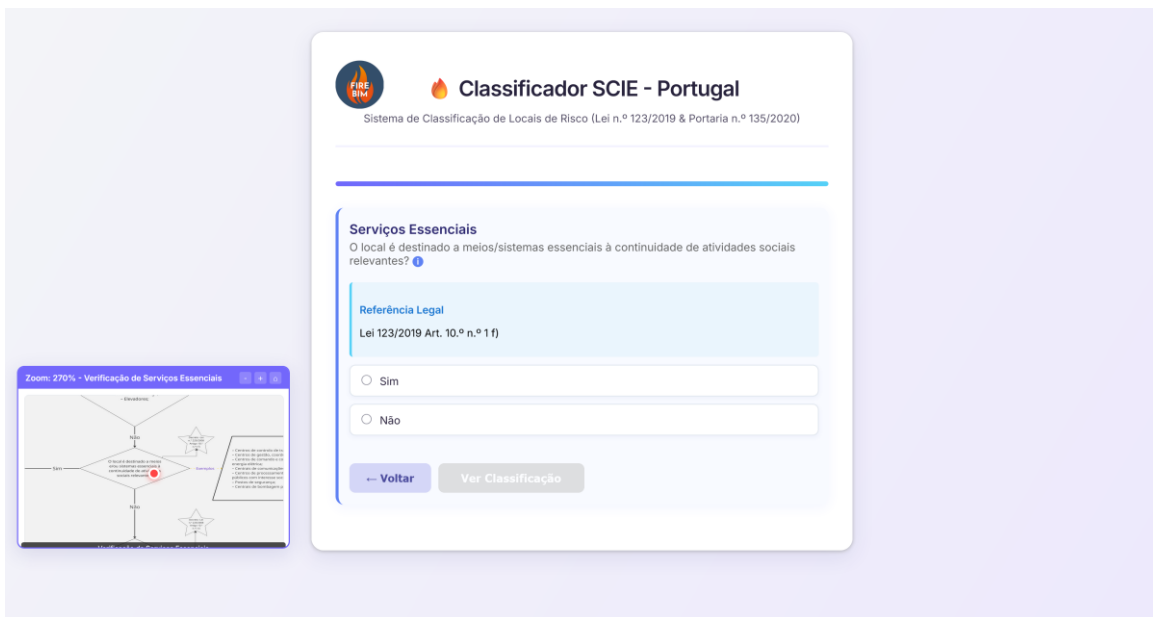


Figura 93 - Segunda página do classificador

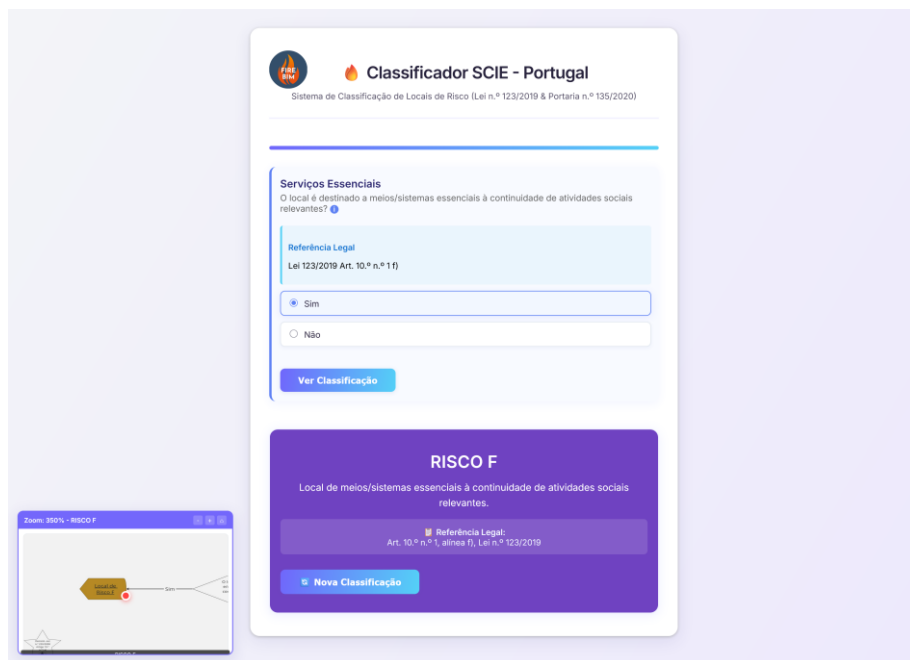


Figura 94 - Classificador a mostrar a classificação do Local de Risco F

No caso da classificação das categorias da Utilizações-Tipo, no primeiro ecrã (Figura 90) o classificador pede ao utilizador para selecionar a utilização-tipo (entre I e XII) e acede ao questionário específico para cada uma (Figura 95 e Figura 96), onde valores como a altura da UT, número de pisos abaixo do plano de referência, área bruta ou efetivo são introduzidos via campos numéricos. Ao conjunto do intervalo introduzido corresponde a atribuição automática da 1ª, 2ª, 3ª ou 4ª categoria de risco (Figura 97), minimizando a possibilidade de erro.

Figura 95 - Questionário específico para a Utilização-tipo I (1/2)

Figura 96 - Questionário específico para a Utilização-tipo I (2/2)

## Resultado da Classificação

# 1ª Categoria

UT I - Habitacionais

**Fatores Determinantes**

Altura da UT	7 m
Pisos abaixo do plano de referência	1 pisos

Figura 97 - Resultado da classificação da categoria de risco da UT I

Por fim, o questionário destinado à obtenção da área máxima dos compartimentos corta-fogo inicia-se com a solicitação ao utilizador da identificação da Utilização-Tipo do local que pretende analisar (Figura 91). Após essa definição, são apresentadas perguntas específicas, conforme a utilização-tipo selecionada. Por exemplo, para a Utilização-Tipo II (Figura 98), o classificador questiona se o compartimento se situa acima, ao nível ou abaixo do plano de referência. Caso esteja abaixo do plano, a área máxima definida é de 3200 m<sup>2</sup> (Figura 100), se estiver acima ou no plano, o limite é de 6400 m<sup>2</sup> (Figura 99).

**Classificador de Áreas Máximas de Compartimentação Corta-Fogo**  
Determine a área máxima permitida com base na utilização-tipo e características do edifício

2 de 2

2. Qual é a localização relativamente ao plano de referência?

Acima ou no plano de referência

Abaixo do plano de referência

Voltar

Figura 98 - Pergunta específica quando selecionada a UT II

2. Qual é a localização relativamente ao plano de referência?

Acima ou no plano de referência

Abaixo do plano de referência

Reiniciar

**Resultado**

Área Máxima de Compartimentação:  
**6400 m<sup>2</sup>**

Utilização-tipo: II

Localização: Acima ou no plano de referência

Figura 99 - Solução se a escolha for acima ou no plano de referência

2. Qual é a localização relativamente ao plano de referência?

Acima ou no plano de referência

Abaixo do plano de referência

Reiniciar

**Resultado**

Área Máxima de Compartimentação:

**3200 m<sup>2</sup>**

Utilização-tipo: II

Localização: Abaixo do plano de referência

Figura 100 - Solução se a escolha for abaixo do plano de referência

Os questionários feitos em *HTML* foram testados por técnicos de SCIE, tendo obtido elevada aceitação quanto à clareza das instruções, à simplicidade de navegação, à forma de apresentação da informação e à possível redução de erros na classificação.

A interatividade proporcionada pelos questionários facilita o processo de classificação e orienta os utilizadores menos familiarizados com o regulamento português, facilitando a conformidade e reduzindo erros na avaliação. A sua facilidade de atualização permite modificar rapidamente os questionários sempre que surjam alterações legislativas, mantendo a ferramenta alinhada com os regulamentos em vigor sem muito distúrbio no fluxo de trabalho e um dos sintomas mais importantes é a uniformização de critérios que assegura que diferentes técnicos/engenheiros/arquitetos obtenham resultado idênticos para os mesmos dados de entrada, eliminando interpretações subjetivas.

Note-se que, contudo, os classificadores apresentam também limitações, a rigidez na análise de casos especiais constitui uma das principais desvantagens, uma vez que situações complexas ou excecionais podem não estar contempladas nos fluxos de decisão, exigindo análise técnica adicional por parte do utilizador.



## 5 Validação e Desenvolvimentos futuros

A conclusão do presente estágio evidenciou a necessidade do aprofundamento e validação com os técnicos de SCIE que, embora não tenham sido possíveis de concretizar no tempo disponível, representam uma fase de desenvolvimento essencial para a consolidação e aperfeiçoamento das ferramentas desenvolvidas.

### 5.1 Possíveis validações

O processo de teste e validação realizado para os questionários online, que envolveu técnicos de SCIE e resultou em melhorias significativas na terminologia e funcionalidades, demonstrou o valor do *feedback* dos profissionais da área de SCIE. Esta abordagem deveria ser estendida a todas as componentes do trabalho desenvolvido das seguintes formas.

A validação da compartimentação corta-fogo manual e automática em *Autodesk Revit* necessita de ser testada em condições reais de trabalho, permitindo identificar se estes procedimentos se integram no fluxo de trabalho dos técnicos de SCIE. Igualmente, é importante também a verificação dos parâmetros IFC selecionados, uma vez que possíveis conflitos ou interpretações divergentes podem emergir quando confrontados com a experiência prática dos profissionais e a validação da sua forma de entrada no software.

Note-se que, as interpretações regulamentares aplicadas neste trabalho requerem particular atenção, pois os técnicos frequentemente desenvolvem leituras específicas dos decretos-lei e portarias adaptadas a casos reais, as quais podem diferenciar das interpretações académicas implementadas. Esta validação cruzada permitiria identificar diferenças e ajustar as ferramentas às práticas adotadas no terreno.

### 5.2 Possíveis Desenvolvimentos futuros

Durante o desenvolvimento do estágio, assumiu-se que os técnicos de SCIE possuem conhecimento consolidado sobre a identificação e delimitação dos compartimentos corta-fogo e focou-se prioritariamente na sua criação e definição das áreas máximas. Contudo, nas últimas semanas do estágio, emergiu a necessidade de criar um guia que auxilie na definição destes compartimentos devido a dois problemas identificados na aplicação prática dos regulamentos:

- [1] A existência de práticas e interpretações usadas no setor que não estão explicitamente

descritas no DL 123/2019 e a Portaria 135/2020, criando diferenças entre o conhecimento real dos profissionais e o legislativo escrito;

- [2] A complexidade estrutural dos regulamentos SCIE, caracterizado por uma rede densa de interligações regulamentares entre artigos, capítulos e anexos, que dificulta a identificação de um percurso lógico e sequencial para a aplicação das regras de compartimentação e outras.

Este guia deveria clarificar que conjuntos de locais de risco (Capítulo 2.2.2.3) e utilização-tipo (Capítulo 2.2.2.1) constituem, compartimentos corta-fogo, fornecendo orientações teóricas para a sua possível delimitação. A falta de tempo impossibilitou a concretização desta ferramenta, que aparenta como um complemento ao trabalho desenvolvido.

Adicionalmente, o feedback recolhido junto dos técnicos de SCIE revelou interesse num possível desenvolvimento de uma aplicação ou website que incluía os três classificadores desenvolvidos numa única plataforma interligada. Esta solução simplificaria significativamente o fluxo de trabalho, permitindo que os utilizadores naveguem fluidamente entre os diferentes classificadores se for necessário a obtenção de parâmetros em falta. A atual separação dos questionários obriga a processos separados que interrompem a continuidade do trabalho e por isso, uma plataforma interligada, com um menu central e navegação intuitiva entre módulos, responderia diretamente às necessidades práticas identificadas pelos profissionais.

Estas linhas de desenvolvimento futuro confeririam ao trabalho uma robustez e aplicabilidade prática superiores, aproximando-o das condições reais de utilização e das dificuldades enfrentadas pelos técnicos de SCIE no seu quotidiano profissional.

## 6 Conclusões

Em suma, este relatório resumiu o projeto de estágio desenvolvido ao longo de 6 meses de trabalho na empresa VN2R, apresentando o processo que visava atingir os objetivos previamente definidos no âmbito do projeto europeu FireBIM.

No que respeita aos objetivos gerais de criação de um modelo BIM totalmente funcional, reconhece-se que não foram integralmente alcançados, embora se registem avanços significativos na área da compartimentação corta-fogo. Faltam ainda as validações práticas em contexto real de trabalho com técnicos especializados e os consequentes ajustes decorrentes dessa avaliação prática. Admite-se ainda, que o trabalho se concentrou fundamentalmente na compartimentação corta-fogo e as suas variáveis, uma vez que esta constituía a componente específica do projeto FireBIM em desenvolvimento durante o período de estágio. Contudo, reconhece-se que a regulamentação portuguesa de SCIE abrange domínios muito mais vastos para além dos compartimentos corta-fogo, cujo aprofundamento se revelaria igualmente importante explorar.

Relativamente ao trabalho desenvolvido em *Autodesk Revit*, *Dynamo* e com a criação dos fluxogramas e seus respetivos questionários, o fluxo de trabalho revelou-se inicialmente lento, exigindo consulta frequente de documentação e experimentação de diferentes ferramentas. Progressivamente, com a repetição das operações básicas e a consolidação de conhecimentos, essas dificuldades foram sendo superadas e por isso, o estágio proporcionou uma expansão significativa dos conhecimentos tanto nas regulamentações de SCIE quanto nos softwares utilizados, constituindo uma mais-valia na formação académica e profissional.

O projeto demonstrou o potencial da integração entre metodologias BIM e verificação regulamentar de SCIE, abrindo perspectivas para futuros desenvolvimentos que aproximem ainda mais as ferramentas digitais das necessidades práticas dos profissionais do setor, onde o projeto FireBIM pretende suceder.



# Referências

- ANEPC. (2023, Janeiro 23). *Ficha de segurança*. <https://prociv.gov.pt/pt/seguranca-contraincendio/documentacao-tecnica/ficha-de-seguranca/>
- buildingSMART. (2025). *IFC 4.3.2.0 specification*. <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/>
- Cardoso, A., Martins, M., Neves, J., Santos, D., & Maia, B. (2012). *BIM: O que é? Mestrado Integrado em Engenharia Civil*.
- Choi, J., Choi, J., Cho, G., & Kim, I. (2012). Development of Open BIM-based Code Checking Modules for the Regulations of the Fire and Evacuation. *CIB W099 International Conference on Safety and Health in Construction*.
- Dederichs, A. (2023). *FireBIM Project Profile*. <https://itea4.org/project/firebim.html>
- Furtado, M. (2020, Novembro 23). *HIERARQUIA DAS LEIS*. <https://www.isg.pt/2020/11/23/hierarquia-das-leis/v>
- GRAITEC. (sem data). *The Ultimate Guide To Autodesk Dynamo*. <https://asti.com/ultimate-guide-to-autodesk-dynamo/>
- Kater, M., & Ruschel, R. C. (2020). O potencial da verificação automatizada baseada em regras para as medidas de segurança contra incêndio em BIM. *Ambiente Construído*, 20(4). <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000400481>
- Khan, N., Ali, A. K., Tran, S. V. T., Lee, D., & Park, C. (2020). Visual language-aided construction fire safety planning approach in building information modeling. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/app10051704>
- Lei n.º 123/2019, de 18 de outubro, Diário da República n.º 201/2019, Série I de 2019-10-18 (2019).
- Majcher, J. (2020). *Secrets of the IFC format*. <https://bimcorner.com/secrets-of-the-ifc-format/>
- Mathews, R. (2018). Could Autodesk Revit Be Automated for Code Compliance Checking and Demonstration with A Focus on Fire Safety Regulations? *Reports Dublin School of Architecture*. <https://arrow.tudublin.ie/bescharcrep>
- Noardo, F., Ohori, K. A., Krijnen, T., & Stoter, J. (2021). An Inspection of IFC Models from Practice. *Applied Sciences 2021, Vol. 11, Page 2232, 11(5), 2232*. <https://doi.org/10.3390/APP11052232>
- Portaria n.º 135/2020, de 2 de junho, Diário da República n.º 107/2020, Série I de 2020-06-02, páginas 2 - 214 (2020).
- Schönfelder, P., Aziz, A., Bosché, F., & König, M. (2024). Enriching BIM models with fire safety equipment using keypoint-based symbol detection in escape plans. *Automation in Construction*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105382>

- Siddiqui, A. A., Ewer, J. A., Lawrence, P. J., Galea, E. R., & Frost, I. R. (2021). Building Information Modelling for performance-based Fire Safety Engineering analysis – A strategy for data sharing. *Journal of Building Engineering*, 42, 102794. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102794>
- Verma, S. (2022, Novembre 22). *What Is Dynamo for Revit and Who Should Use It?*  
<https://www.novatr.com/blog/dynamo-for-revit>
- Wang, K. C., Shih, S. Y., Chan, W. S., Wang, W. C., Wang, S. H., Gansonre, A. A., Liu, J. J., Lee, M. T., Cheng, Y. Y., & Yeh, M. F. (2014). Application of building information modeling in designing fire evacuation-a case study. *31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, ISARC 2014 - Proceedings*. <https://doi.org/10.22260/isarc2014/0079>
- Zanchetta, C., Grazia Donatiello, M., Gabbanoto, A., & Paparella, R. (2023). Digitization of building systems using IFC to support performance analysis and code checking: standard limits and technological barriers. A case study on fire safety. *Rivista Tema*, 09(01).  
<https://doi.org/10.30682/TEMA0901L>

## **Anexo I: Tabelas de SCIE da Lei 123/2019**

Tabela 13 - Categorias de risco da utilização-tipo I

Categoria	Valores máximos referentes à utilização-tipo I	
	Altura da UT I	Número de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência (*)
1. <sup>a</sup>	≤ 9 m	≤ 1
2. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 3
3. <sup>a</sup>	≤ 50 m	≤ 5
4. <sup>a</sup>	> 50 m	> 5

Tabela 14 - Categorias de risco da utilização-tipo II

Categoria	Valores máximos referentes à utilização-tipo II, quando integrada em edifício			Ao ar livre
	Altura da UT II	Área bruta ocupada pela UT II	Número de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência (*)	
1. <sup>a</sup>	-			Sim
	≤ 9 m	≤ 3 200 m <sup>2</sup>	≤ 1	Não
2. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 9 600 m <sup>2</sup>	≤ 3	Não
3. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 32 000 m <sup>2</sup>	≤ 5	Não
4. <sup>a</sup>	> 28 m	> 32 000 m <sup>2</sup>	> 5	Não

Tabela 15 - Categorias de risco da utilização-tipo III

Categoria	Valores máximos referentes à utilização-tipo III	
	Altura da UT III	Efetivo da UT III
1. <sup>a</sup>	≤ 9 m	≤ 100
2. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 1000
3. <sup>a</sup>	≤ 50 m	≤ 5000
4. <sup>a</sup>	> 50 m	> 5000

Tabela 16 - Categorias de risco da utilização-tipo IV e V

Categoria	Valores máximos referentes às utilizações-tipo IV e V			Locais de risco D com saídas independentes diretas ao exterior no plano de referência
	Altura da UT IV ou V	Efetivo da UT IV ou V		
		Efetivo	Efetivo em locais de risco D ou E	
1. <sup>a</sup>	≤ 9 m	≤ 100	≤ 25	Aplicável a todos
2. <sup>a</sup>	≤ 9 m	≤ 500 (*)	≤ 100	Não aplicável
3. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 1 500 (*)	≤ 400	Não aplicável
4. <sup>a</sup>	> 28 m	> 1 500	> 400	Não aplicável

Tabela 17 - Categorias de risco da utilização-tipo VI e IX

Categoria	Valores máximos referentes às utilizações-tipo VI e IX, quando integradas em edifício			Ao ar livre
	Altura da UT VI ou IX	Número de pisos ocupados pela UT VI ou IX abaixo do plano de referência (*)	Efetivo da UT VI ou IX	Efetivo da UT VI ou IX
1. <sup>a</sup>	-			≤ 1 000
	≤ 9 m	0	≤ 100	-
2. <sup>a</sup>	-			≤ 15 000
	≤ 28 m	≤ 1	≤ 1 000	-
3. <sup>a</sup>	-			≤ 40 000
	≤ 28 m	≤ 2	≤ 5 000	-
4. <sup>a</sup>	-			> 40 000
	> 28 m	> 2	> 5 000	-

Tabela 18 - Categorias de risco da utilização-tipo VII

Categoria	Valores máximos referentes às utilizações-tipo VII			Locais de risco E com saídas independentes diretas ao exterior no plano de referência
	Altura da UT VII	Efetivo da UT VII		
		Efetivo	Efetivo em locais de risco E	
1. <sup>a</sup>	≤ 9 m	≤ 100	≤ 50	Aplicável a todos
2. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 500	≤ 200	Não aplicável
3. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 1 500	≤ 800	Não aplicável
4. <sup>a</sup>	> 28 m	> 1 500	> 800	Não aplicável

Tabela 19 - Categorias de risco da utilização-tipo VIII

Categoria	Valores máximos referentes à utilização-tipo VIII		
	Altura da UT VIII	Número de pisos ocupados pela UT VIII abaixo do plano de referência (*)	Efetivo da UT VIII
1. <sup>a</sup>	≤ 9 m	0	≤ 100
2. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 1	≤ 1 000
3. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 2	≤ 5 000
4. <sup>a</sup>	> 28 m	> 2	> 5 000

Tabela 20 - Categorias de risco da utilização-tipo X

Categoria	Valores máximos referentes à utilização-tipo X	
	Altura da UT X	Efetivo da UT X
1. <sup>a</sup>	≤ 9 m	≤ 100
2. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 500
3. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 1500
4. <sup>a</sup>	> 28 m	> 1500

Tabela 21 - Categorias de risco da utilização-tipo XI

Categoria	Valores máximos referentes à utilização-tipo XI			
	Altura da UT XI	Número de pisos ocupados pela UT XI abaixo do plano de referência (*)	Efetivo da UT XI	Densidade de carga de incêndio modificada da UT XI (**)
1. <sup>a</sup>	≤ 9 m	0	≤ 100	≤ 1 000 MJ/ m <sup>2</sup>
2. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 1	≤ 500	≤ 10 000 MJ/ m <sup>2</sup>
3. <sup>a</sup>	≤ 28 m	≤ 2	≤ 1 500	≤ 30 000 MJ/ m <sup>2</sup>
4. <sup>a</sup>	> 28 m	> 2	> 1 500	> 30 000 MJ/ m <sup>2</sup>

Tabela 22 - Categorias de risco da utilização-tipo XII

Categoria	Valores máximos referentes à utilização-tipo XII		
	Integrada em edifício		Ao ar livre
	Densidade de carga de incêndio modificada da UT XII (**)	Número de pisos ocupados pela UT XII abaixo do plano de referência (*)	Densidade de carga de incêndio modificada da UT XII (**)
1. <sup>a</sup>	≤ 500 MJ/ m <sup>2</sup>	0	≤ 1 000 MJ/ m <sup>2</sup>
2. <sup>a</sup>	≤ 5 000 MJ/ m <sup>2</sup>	≤ 1	≤ 10 000 MJ/ m <sup>2</sup>
3. <sup>a</sup>	≤ 15 000 MJ/ m <sup>2</sup>	≤ 1	≤ 30 000 MJ/ m <sup>2</sup>
4. <sup>a</sup>	> 15 000 MJ/ m <sup>2</sup>	> 1	> 30 000 MJ/ m <sup>2</sup>



## **Anexo II: Códigos concebidos**

Segundo código usado na Iteração 1:

```
import clr
clr.AddReference('ProtoGeometry')
from Autodesk.DesignScript.Geometry import *

lines = IN[0] # Lista de 4 linhas

intersections = []

# Percorrer todos os pares únicos de linhas
for i in range(len(lines)):
    for j in range(i+1, len(lines)):
        result = lines[i].Intersect(lines[j])
        # Guardar apenas se for ponto de interseção válido
        if result and isinstance(result[0], Point):
            intersections.append(result[0])

OUT = intersections
```

```

import clr
clr.AddReference("ProtoGeometry")
from Autodesk.DesignScript.Geometry import *

# INPUTS do Dynamo
curves = IN[0] # Lista de curvas (Lines)
tolerance = IN[1] # Tolerância (ex: 0.001)

# 1. Obter todos os pontos de início e fim
points = []
for c in curves:
    points.append(c.StartPoint)
    points.append(c.EndPoint)

# 2. Corrigir pontos próximos (colar pontos dentro da tolerância)
for i in range(len(points)):
    for j in range(i + 1, len(points)):
        if points[i].DistanceTo(points[j]) <= tolerance:
            avgPt = Point.ByCoordinates(
                (points[i].X + points[j].X) / 2.0,
                (points[i].Y + points[j].Y) / 2.0,
                (points[i].Z + points[j].Z) / 2.0
            )
            points[i] = avgPt
            points[j] = avgPt

# 3. Criar novas linhas com pontos corrigidos
newCurves = []
for i in range(0, len(points), 2):
    newLine = Line.ByStartPointEndPoint(points[i], points[i + 1])
    newCurves.append(newLine)

# 4. Unir as linhas numa PolyCurve
poly = PolyCurve.ByJoinedCurves(newCurves)

# OUTPUT para o Dynamo
OUT = poly

```

Código 2 - Código usado na Iteração 2

```

import clr
clr.AddReference("ProtoGeometry")
from Autodesk.DesignScript.Geometry import *

surfaces = IN[0]
tolerance = 0.001

all_curves = []

def process_surface(surf):
    try:
        return surf.PerimeterCurves()
    except:
        return []

for s in surfaces:
    if isinstance(s, Surface):
        all_curves += process_surface(s)
    elif isinstance(s, list):
        for sub in s:
            if isinstance(sub, Surface):
                all_curves += process_surface(sub)

z_values = [c.StartPoint.Z for c in all_curves] + [c.EndPoint.Z for c in all_curves]
if len(z_values) == 0:
    OUT = [], [], "Sem curvas válidas"
else:
    base_z = min(z_values)

def project_curve_to_z(curve, target_z):
    try:
        if isinstance(curve, Line):
            sp = curve.StartPoint
            ep = curve.EndPoint
            new_sp = Point.ByCoordinates(sp.X, sp.Y, target_z)
            new_ep = Point.ByCoordinates(ep.X, ep.Y, target_z)
            if new_sp.DistanceTo(new_ep) <= tolerance:
                return None
            return Line.ByStartPointEndPoint(new_sp, new_ep)

        elif isinstance(curve, Arc):
            sp = curve.StartPoint
            ep = curve.EndPoint
            mp = curve.MidPoint
            new_sp = Point.ByCoordinates(sp.X, sp.Y, target_z)
            new_mp = Point.ByCoordinates(mp.X, mp.Y, target_z)
            new_ep = Point.ByCoordinates(ep.X, ep.Y, target_z)
            return Arc.ByThreePoints(new_sp, new_mp, new_ep)

        elif isinstance(curve, NurbsCurve):

```

```

    cps = curve.ControlPoints()
    new_cps = [Point.ByCoordinates(p.X, p.Y, target_z) for p in cps]
    return NurbsCurve.ByControlPoints(new_cps)

    else:
        return None
    except:
        return None

projected = [project_curve_to_z(c, base_z) for c in all_curves]
projected = [c for c in projected if c is not None]

# ☒☒ Tentar unir curvas
try:
    joined = PolyCurve.ByJoinedCurves(projected)
    OUT = joined, "Total de curvas unidas: {}".format(len(projected))
except:
    OUT = projected, "Não foi possível unir curvas"

```

Código 3 - 1º Código usado na Iteração 3

```

import clr
clr.AddReference('RevitServices')
from RevitServices.Persistence import DocumentManager
clr.AddReference("RevitNodes")
import Revit
clr.ImportExtensions(Revit.Elements)
clr.ImportExtensions(Revit.GeometryConversion)

from Autodesk.DesignScript.Geometry import *

# Entradas
nested_curves = IN[0]
raw_input_surface = IN[1]

# Função para flatten recursivo
def flatten_recursive(lst):
    result = []
    for item in lst:
        if isinstance(item, list):
            result.extend(flatten_recursive(item))
        else:
            result.append(item)
    return result

# Garantir que temos uma única surface válida
if isinstance(raw_input_surface, list):
    flat_surface = flatten_recursive(raw_input_surface)
    if len(flat_surface) == 0:
        OUT = " ⚠ Nenhuma superfície encontrada", [], [], []
    else:
        reference_surface = flat_surface[0]
else:
    reference_surface = raw_input_surface

# Verificar se a surface é válida
if not hasattr(reference_surface, "BoundingBox"):
    OUT = " ⚠ O input da superfície não tem BoundingBox - não é uma surface válida", [], [], []
else:
    # Obter cota Z da surface
    bbox = reference_surface.BoundingBox
    z = (bbox.MinPoint.Z + bbox.MaxPoint.Z) / 2.0

def generate_key(p1, p2):
    coords = sorted([
        (round(p1.X, 6), round(p1.Y, 6)),
        (round(p2.X, 6), round(p2.Y, 6))
    ])
    return str(coords)

existing_keys = set()

```

```

result_lines = []
rejected = []

# Aplanar todas as curvas recursivamente
flat_curves = flatten_recursive(nested_curves)

for c in flat_curves:
    try:
        # Verificar se é mesmo uma curva com StartPoint e EndPoint
        if not hasattr(c, "StartPoint") or not hasattr(c, "EndPoint"):
            rejected.append("Tipo inválido: {}".format(type(c)))
            continue

        start = c.StartPoint
        end = c.EndPoint

        # Alinhar pontos ao Z da surface
        new_start = Point.ByCoordinates(start.X, start.Y, z)
        new_end = Point.ByCoordinates(end.X, end.Y, z)

        key = generate_key(new_start, new_end)
        if key in existing_keys:
            rejected.append("Duplicada: " + key)
            continue

        new_line = Line.ByStartPointEndPoint(new_start, new_end)
        result_lines.append(new_line)
        existing_keys.add(key)

    except Exception as e:
        rejected.append("Erro: {} → {}".format(type(c), str(e)))

OUT = result_lines, [], rejected, "✅ Z = " + str(z)

```

Código 4 - 2º Código usado na Iteração 3

```

import sys
import clr
clr.AddReference('ProtoGeometry')
from Autodesk.DesignScript.Geometry import *

lin=IN[0]
fl=lin[0]
lin.pop(0)
stockorder=[]
stockorder.append(fl)
pext=fl.EndPoint
def reol(p,li,st):
    a=[l.ClosestPointTo(p) for l in li]
    b=[Geometry.DistanceTo(a,p) for a in a]
    i=b.index(min(b))
    st.append(li[i])
    c=li[i].ParameterAtPoint(a[i])
    li.pop(i)
    if c==0:
        return st[-1].PointAtParameter(1)
    else:
        return st[-1].PointAtParameter(0)
b1=reol(pext,lin,stockorder)
boucles=[]
boucles.append(b1)
while len(lin)>0:
    boucles.append(reol(boucles[-1],lin,stockorder))
stockorder.append(stockorder[0])

idx=[i for i in range(len(stockorder)-1) if
round(abs(Vector.AngleAboutAxis(stockorder[i].Direction,stockorder[i+1].Direction,Vector.ByCoordinates(0,0,1))),0)==0 or
round(abs(Vector.AngleAboutAxis(stockorder[i].Direction,stockorder[i+1].Direction,Vector.ByCoordinates(0,0,1))),0)==180 ]

OUT =stockorder,idx

```

Código 5 - 3º Código usado na Iteração 3

```

import sys
import clr
clr.AddReference('ProtoGeometry')
from Autodesk.DesignScript.Geometry import *

lin = IN[0]

def pint(l1, l2):
    dx1 = round(l1.EndPoint.X - l1.StartPoint.X, 5)
    dy1 = round(l1.EndPoint.Y - l1.StartPoint.Y, 5)
    dx2 = round(l2.EndPoint.X - l2.StartPoint.X, 5)
    dy2 = round(l2.EndPoint.Y - l2.StartPoint.Y, 5)

    # Evitar divisão por zero nas inclinações
    if dx1 == 0 and dx2 == 0:
        return None # Ambas verticais, não há interseção definida
    if dx1 == 0:
        # l1 vertical
        if dx2 == 0:
            return None
        c = dy2 / dx2
        d = l2.StartPoint.Y - c * l2.StartPoint.X
        return Point.ByCoordinates(l1.StartPoint.X, c * l1.StartPoint.X + d, l1.StartPoint.Z)
    if dx2 == 0:
        # l2 vertical
        a = dy1 / dx1
        b = l1.StartPoint.Y - a * l1.StartPoint.X
        return Point.ByCoordinates(l2.StartPoint.X, a * l2.StartPoint.X + b, l2.StartPoint.Z)

    # Ambas não verticais
    a = dy1 / dx1
    b = l1.StartPoint.Y - a * l1.StartPoint.X
    c = dy2 / dx2
    d = l2.StartPoint.Y - c * l2.StartPoint.X

    if round(a - c, 8) == 0:
        return None # Linhas paralelas, sem interseção definida

    x = (d - b) / (a - c)
    y = a * x + b
    return Point.ByCoordinates(x, y, l1.StartPoint.Z)

OUT = [pint(lin[i+1], lin[i]) for i in range(len(lin) - 1)]

```

Código 6 - 4º Código usado na Iteração 3

```

import clr
clr.AddReference("RevitAPI")
clr.AddReference("RevitServices")

from Autodesk.Revit.DB import *
from RevitServices.Persistence import DocumentManager
from RevitServices.Transactions import TransactionManager

# Documento Revit
doc = DocumentManager.Instance.CurrentDBDocument

# Inputs
curves = IN[0]          # Lista de curvas (geometry Dynamo)
view_name = IN[1]       # Nome da Area Plan
level = UnwrapElement(IN[2]) # Level Revit

# Verificação do nível
if not isinstance(level, Level):
    raise Exception(" ❌ O terceiro input deve ser um elemento do tipo 'Level'.")

# Procurar o Area Scheme "Compartmentation"
area_scheme_name = "Compartmentation"
area_schemes = FilteredElementCollector(doc).OfClass(AreaScheme).ToElements()
target_scheme = next((s for s in area_schemes if s.Name == area_scheme_name), None)

if target_scheme is None:
    raise Exception(" ❌ O Area Scheme 'Compartmentation' não existe no projeto. Cria-o manualmente em Architecture > Area and Volume Computations.")

# Verificar se já existe a Area Plan com esse nome e scheme
views = FilteredElementCollector(doc).OfClass(ViewPlan).ToElements()
target_view = None

for v in views:
    if v.Name == view_name:
        if v.ViewType != ViewType.AreaPlan:
            raise Exception(f" ⚠️ Já existe uma vista chamada '{view_name}', mas não é uma Area Plan.")
        if v.AreaScheme.Id != target_scheme.Id:
            raise Exception(f" ⚠️ Já existe uma Area Plan chamada '{view_name}', mas com outro Area Scheme.")
        target_view = v
        break

# Transação
TransactionManager.Instance.EnsureInTransaction(doc)

# Criar Area Plan se ainda não existir
if target_view is None:
    target_view = ViewPlan.CreateAreaPlan(doc, target_scheme.Id, level.Id)
    target_view.Name = view_name

```

```
# Apagar boundaries existentes na vista
existing_boundaries = FilteredElementCollector(doc, target_view.Id)\
    .OfCategory(BuiltInCategory.OST_AreaSchemeLines)\
    .WhereElementIsNotElementType().ToElements()

for b in existing_boundaries:
    doc.Delete(b.Id)

TransactionManager.Instance.TransactionTaskDone()

# Output: curvas (para ligar ao nó AreaBoundary.ByCurveAndView) e a vista criada
OUT = (curves, target_view)
```

Código 7 - Código usado na 4ª iteração



## **Anexo III: Fluxogramas realizados**

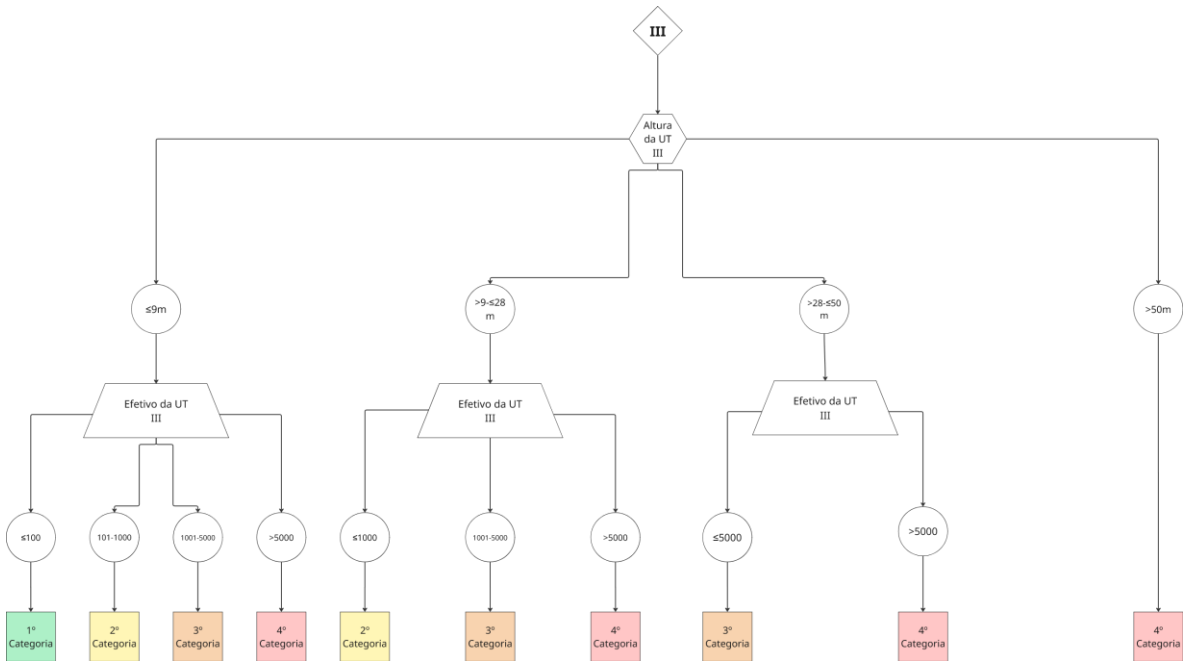


Figura 101 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo III

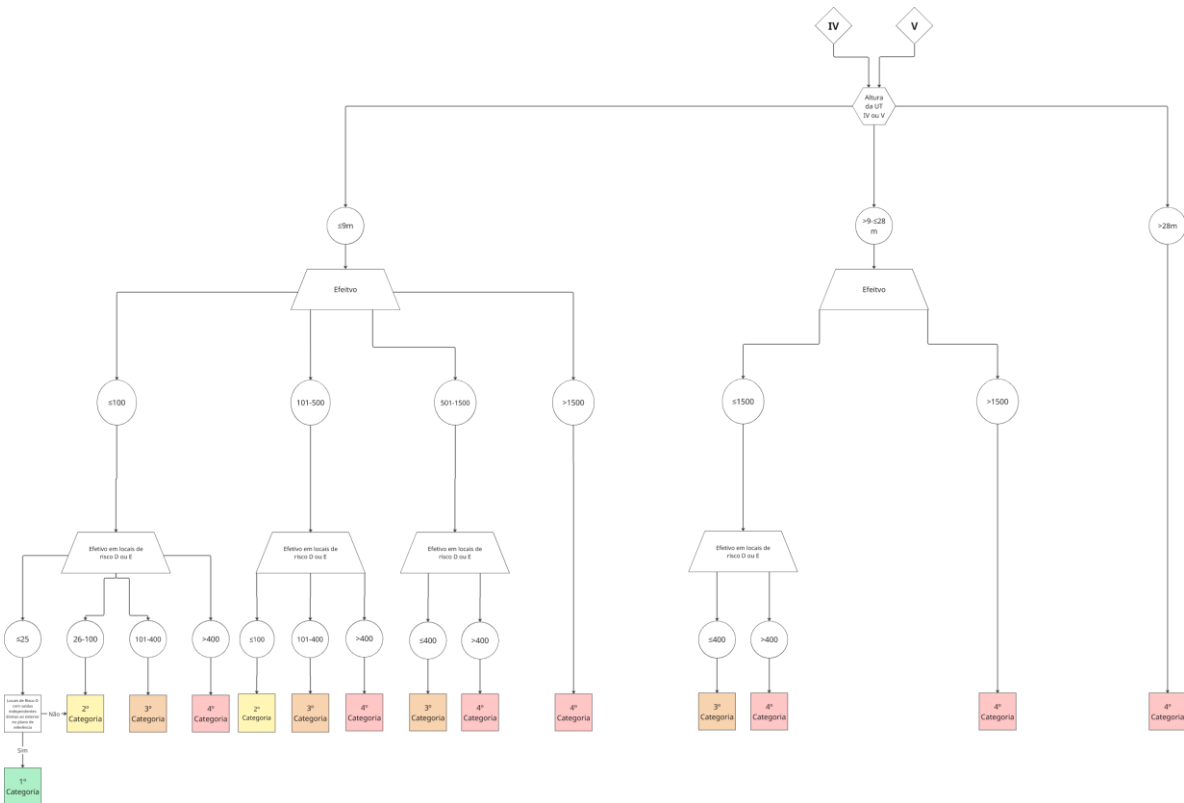


Figura 102 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo IV e V

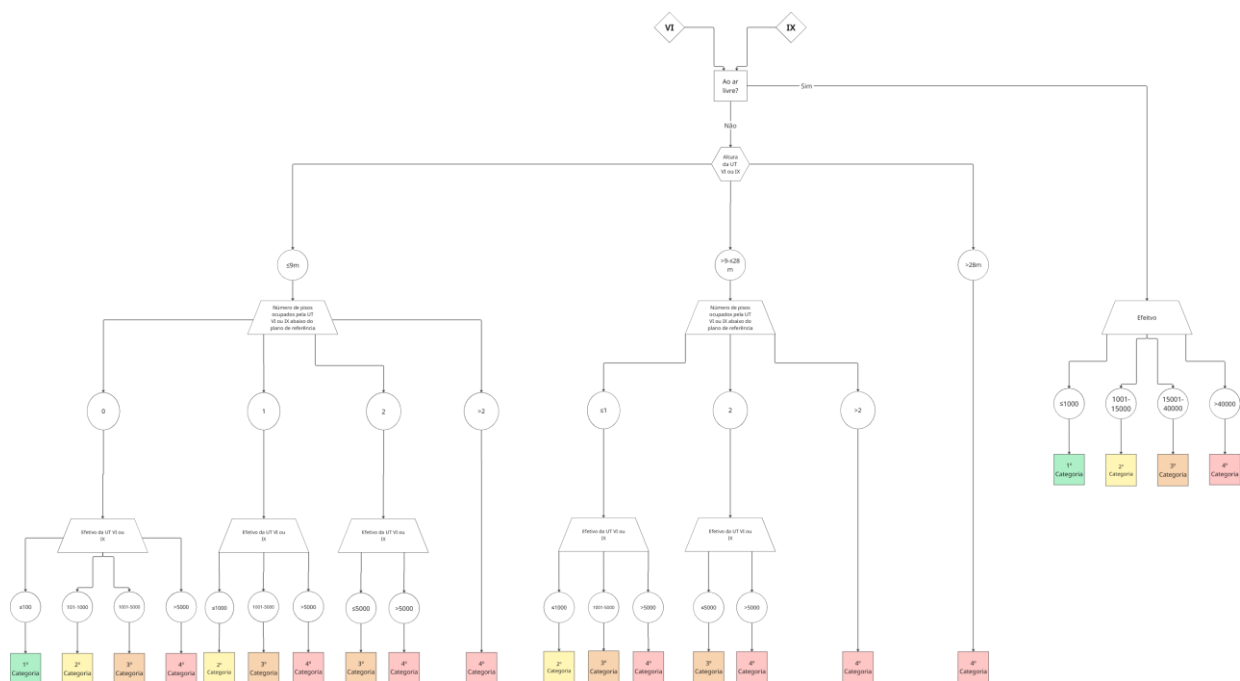


Figura 103 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo VI e IX

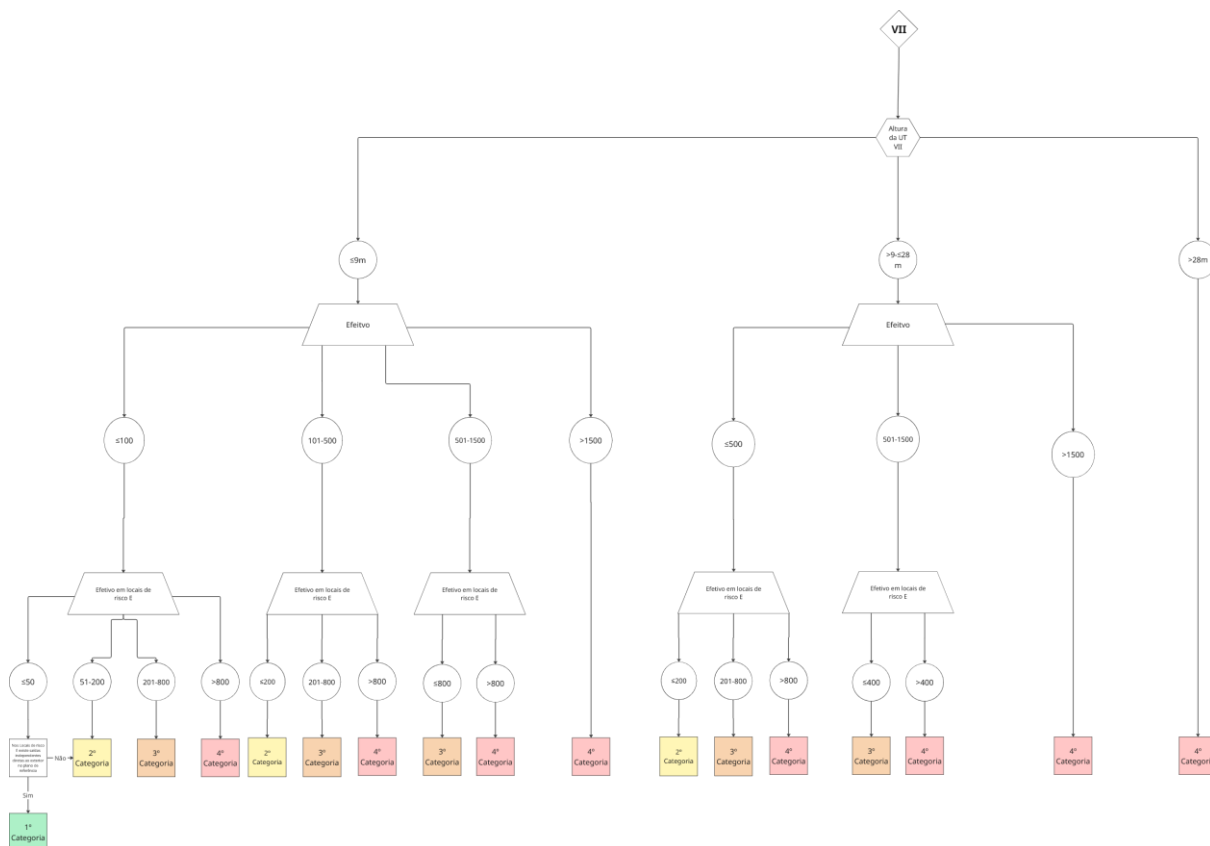


Figura 104 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo VII

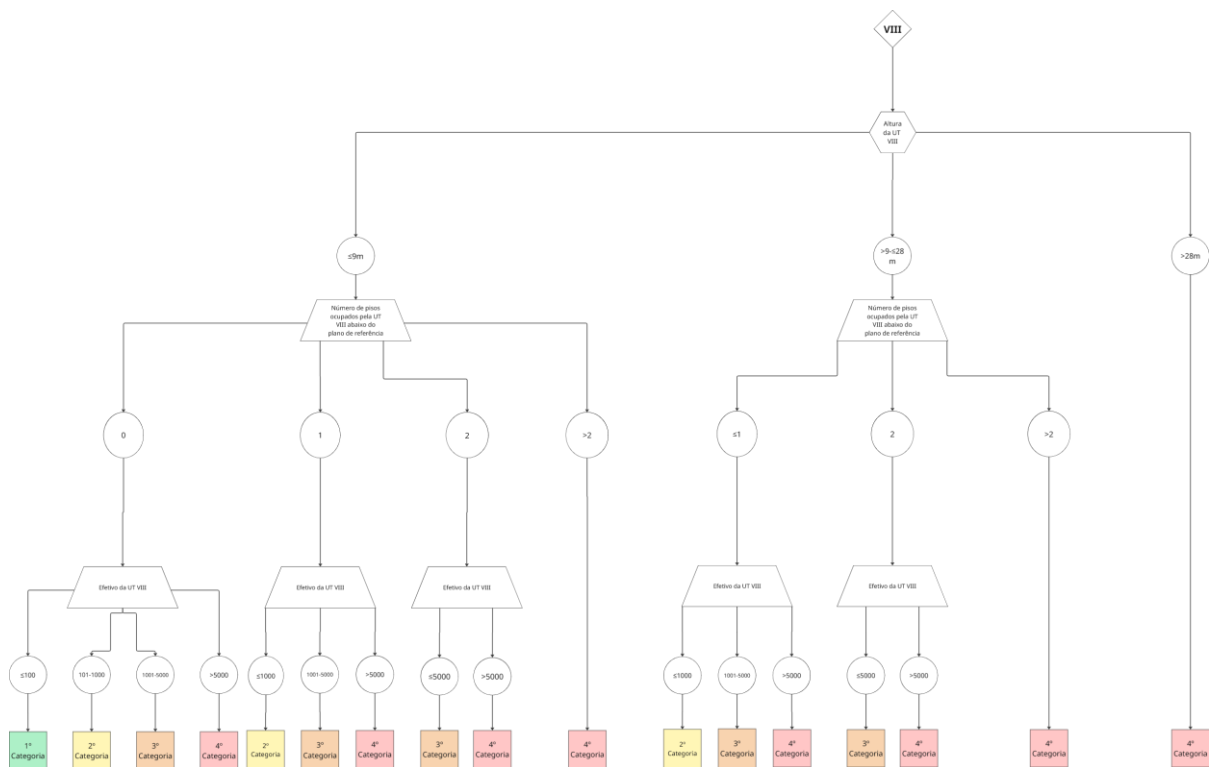


Figura 105 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo VIII

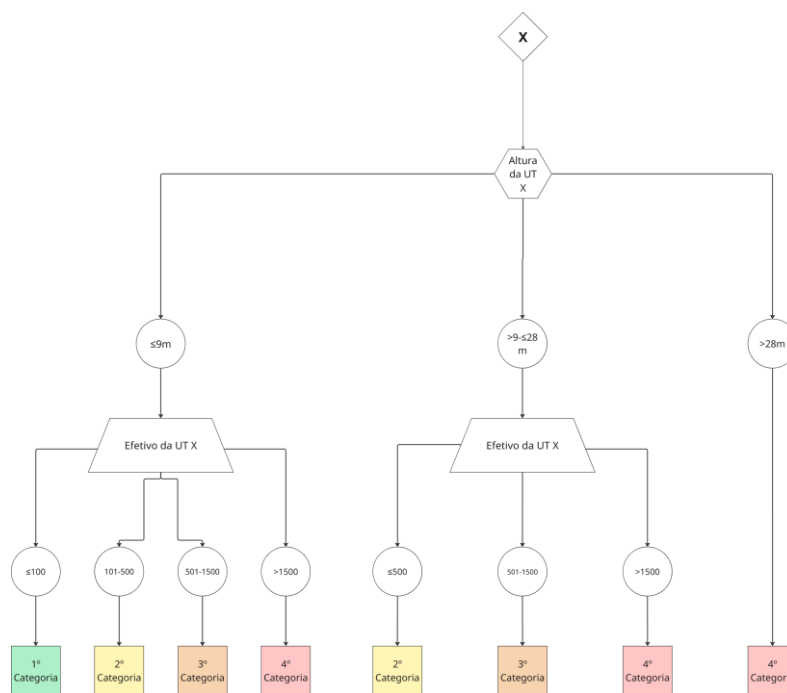


Figura 106 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo X

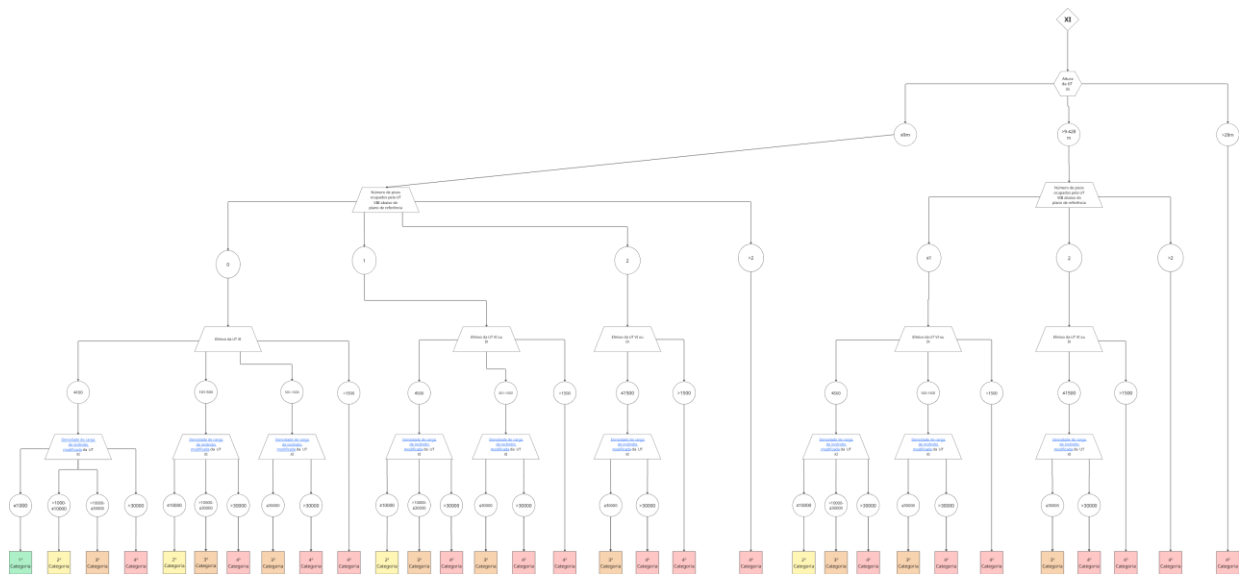


Figura 107 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo XI

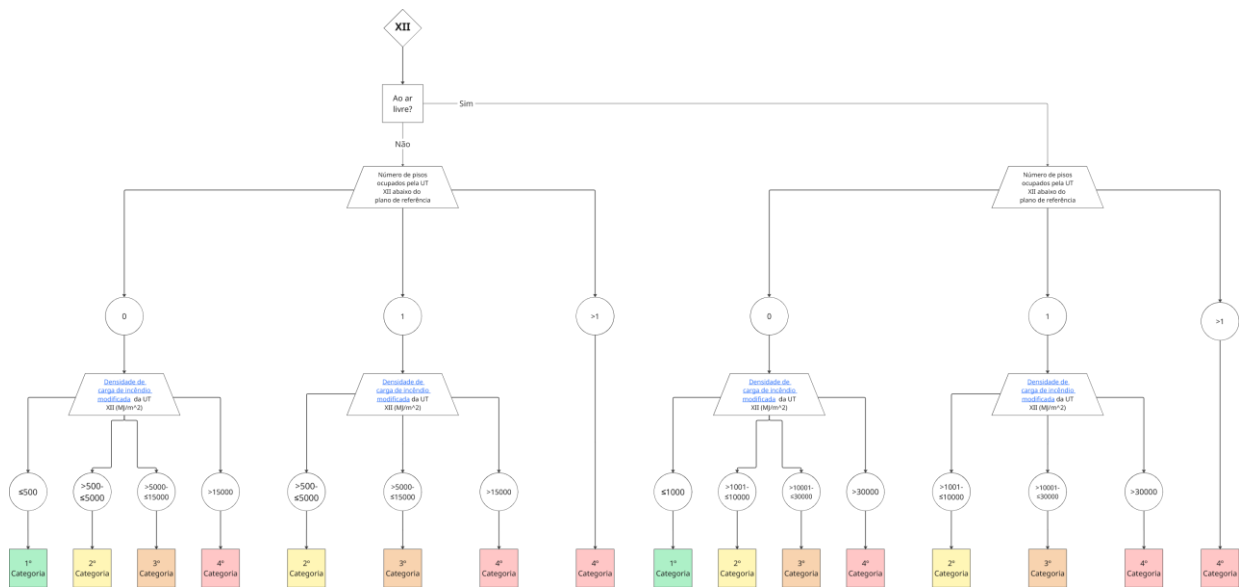


Figura 108 - Fluxograma de classificação da categoria de Risco para a Utilização-tipo XII

Link para visualização do fluxograma completo: [Fluxograma SCIE](#)