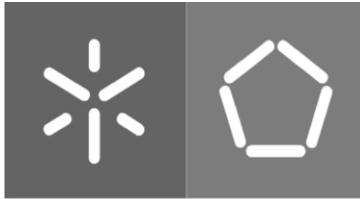




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Beatriz de Castro Nunes

BIM na avaliação de sustentabilidade de edifícios



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Beatriz de Castro Nunes

BIM na avaliação de sustentabilidade de edifícios

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Luís Manuel Bragança de Miranda e Lopes

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

É com enorme satisfação que expresso os meus agradecimentos a todos aqueles que tornaram possível a conclusão desta etapa da minha vida.

Ao meu orientador o Professor Doutor Luís Bragança, pelo acompanhamento na realização deste projeto.

Ao Pedro Carvalho pela orientação contínua, encorajamento, conhecimento e disponibilidade ao longo deste projeto.

Ao meu namorado Tiago e melhor amiga Margarida que me acompanharam nestes anos de universidade. Por todos os momentos que partilhamos e desafios que ultrapassamos juntos.

Aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio e incentivo incondicional e pelas oportunidades que me proporcionaram. Obrigada por todos os conselhos e por estarem sempre presentes.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

ABSTRACT

The relationship between the building sector and environmental problems has already been accepted by the scientific community. In order to assess and minimize environmental, social and economic impacts, new methodologies and tools have been developed. Among the main ones, stand out sustainability assessment methodologies (BSA): LEED, BREEAM and SBTool. In Portugal, transcriptions of the SBTool were carried out for different types of buildings. However, its application is an iterative process, which requires multidisciplinary building information and time-consuming calculations. Given the potential of the BIM methodology, it is opportune that the BSA methods benefit from their capabilities, in order to make the evaluation process simpler and more expeditious. In order to validate and improve the data structure and SBTool^{BIM} template – representative BIM application of SBTool^{PT-H} – this dissertation accomplishes the application of the respective tool to a case study representative of Portuguese residential buildings. Afterwards, the traditional assessment of the sustainability and a comparison between these two methodologies is carried out. The time, effort and information required in both methodologies were collected and their restrictions and limitations were enumerated. Additionally, this work also intends to develop and propose a method of integrating the economic parameters of the SBTool^{PT-H} in the tool SBTool^{BIM}, in order to automate the evaluation process and complete the analysis performed. Information requirements are identified, as well as the tools and processes necessary for their integration. The results show the superior functionality and effectiveness of SBTool^{BIM}, allowing sustainability assessments to be carried out with few resources, quickly and in the early stages of the project. The integration of economic parameters proves to be viable, although it presents some restrictions, such as the need for specific information on the building's performance.

KEYWORDS: BIM, Sustainability, Sustainable construction, SBTool^{PT-H}, SBTool^{BIM}, Economic dimension.

RESUMO

A relação entre o setor dos edifícios e problemas ambientais já foi aceite pela comunidade científica. De forma a avaliar e minimizar os impactos ambientais, sociais e económicos, novas metodologias e ferramentas têm vindo a ser desenvolvidas. Entre as principais destacam-se as metodologias de avaliação da sustentabilidade (MAS): a LEED, a BREEAM e o SBTool. Em Portugal foram realizadas transcrições do SBTool para diferentes tipos de edifícios. Contudo, a sua aplicação consiste num processo iterativo, que requer informação multidisciplinar do edifício e demorosos cálculos. Perante as potencialidades da metodologia BIM torna-se oportuno que os MAS beneficiem das suas capacidades, de forma a tornar o processo de avaliação mais simples e expedito. Com o intuito de validar e melhorar a estrutura de dados e *template* SBTool^{BIM} – aplicação BIM representativa do SBTool^{PT-H} – a presente dissertação realiza a aplicação da respetiva ferramenta a um caso de estudo representativo do edificado residencial português. Posteriormente, realiza a avaliação tradicional da sustentabilidade e procede a uma análise comparativa entre os dois processos de avaliação. Realiza-se a recolha dos tempos, esforços e informações requeridas em ambas as metodologias e enumeram-se as suas restrições e limitações. Adicionalmente, este trabalho pretende ainda desenvolver e propor um método de integração dos parâmetros económicos do SBTool^{PT-H} na ferramenta SBTool^{BIM}, de forma a automatizar o processo de avaliação e a completar a análise efetuada. São identificados os requisitos de informação, bem como as ferramentas e processos necessários à sua integração. Os resultados mostram a funcionalidade e eficácia superior do SBTool^{BIM}, permitindo realizar avaliações de sustentabilidade com poucos recursos, de uma forma célere e em fases iniciais de projeto. A integração dos parâmetros económicos mostra-se viável, embora apresente algumas restrições, tais como a necessidade de informação específica de desempenho do edifício.

Palavras-Chave: BIM, Sustentabilidade, Construção sustentável, SBTool^{PT-H}, SBTool^{BIM}, Dimensão económica.

ÍNDICE

1.	Introdução	1
1.1.	Contextualização	1
1.2.	Objetivos	3
1.3.	Estruturação e organização	4
2.	Revisão da Literatura	6
2.1.	Sustentabilidade nos edifícios	6
2.1.1.	Conceito de sustentabilidade na indústria da construção	6
2.1.2.	Aplicação da construção sustentável	9
2.1.3.	Sistemas de avaliação da sustentabilidade de edifícios	10
2.1.4.	SBTool e a conexão com o panorama português	14
2.2.	Dimensão económica na sustentabilidade	18
2.3.	Building Information Modeling (BIM)	23
2.3.1.	Enquadramento histórico do BIM	23
2.3.2.	Conceito BIM	24
2.3.3.	Dimensões BIM	25
2.3.4.	Níveis de desenvolvimento	27
2.3.5.	Níveis de informação necessária	29
2.3.6.	Troca de dados e interoperabilidade	30
2.3.7.	Implementação e maturidade BIM	31
2.3.8.	<i>Software</i> BIM e as suas aplicações	33
2.3.9.	Vantagens e limitações	36
2.3.10.	O BIM em Portugal	38
2.4.	BIM & Sustentabilidade	42
2.4.1.	Principais aplicações do BIM na sustentabilidade	43
2.4.2.	Exemplo do BIM na sustentabilidade - <i>Shanghai Tower</i>	47
2.4.3.	BIM & SBTool ^{PT} -H	49
2.5.	Caracterização do edificado	53
2.5.1.	Características construtivas	53

3.	Metodologia	61
3.1.	Desenvolvimento da investigação.....	63
3.1.1.	Método tradicional de avaliação da sustentabilidade SBTool ^{PT-H}	63
3.1.2.	Método de avaliação da sustentabilidade SBTool ^{BIM}	66
3.1.3.	Análise comparativa entre o método tradicional SBTool ^{PT-H} e o método SBTool ^{BIM}	68
3.1.4.	Integração dos parâmetros económicos na estrutura SBTool ^{BIM} existente.....	68
3.2.	Caracterização do caso de estudo	70
3.2.1.	Identificação do edifício	70
3.2.2.	Localização e acessos	72
3.2.3.	Arquitetura e equipamentos.....	73
3.2.4.	Caracterização construtiva	74
4.	Resultados.....	77
4.1.	Método tradicional de avaliação da sustentabilidade SBTool ^{PT-H}	79
4.1.1.	Parâmetro P2 – Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível.....	79
4.1.2.	Parâmetro P3 – Índice de impermeabilização	80
4.1.3.	Parâmetro P4 – Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada	81
4.1.4.	Parâmetro P5 – Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones	82
4.1.5.	Parâmetro P6 – Percentagem da área em planta com refletância igual ou superior a 60%	82
4.1.6.	Parâmetro P9 – Percentagem em custo de materiais reutilizados.....	83
4.1.7.	Parâmetro P11 – Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	84
4.1.8.	Parâmetro P12 – Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	85
4.1.9.	Parâmetro P13 – Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	85
4.1.10.	Parâmetro P16 – Potencial de Ventilação Natural.....	86
4.1.11.	Parâmetro P17 – Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de Compostos Orgânicos Voláteis (COV).....	88
4.1.12.	Parâmetro P22 – Índice de acessibilidade a amenidades	90

4.1.13.	Parâmetro P23 – Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício	91
4.1.14.	Resultados obtidos na classificação tradicional SBTTool ^{PT-H}	91
4.2.	Método de avaliação da sustentabilidade com recurso a SBTTool ^{BIM}	93
4.2.1.	Modelação no <i>Revit</i>	93
4.2.2.	SBTTool ^{BIM}	98
4.3.	Análise comparativa entre as duas metodologias	115
4.3.1.	Parâmetro P2 – Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível.....	116
4.3.2.	Parâmetro P3 – Índice de impermeabilização	116
4.3.3.	Parâmetro P4 – Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada	117
4.3.4.	Parâmetro P5 – Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones	117
4.3.5.	Parâmetro P6 – Percentagem da área em planta com refletância igual ou superior a 60%.....	118
4.3.6.	Parâmetro P9 – Percentagem em custo de materiais reutilizados.....	118
4.3.7.	Parâmetro P11 – Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	118
4.3.8.	Parâmetro P12 – Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	119
4.3.9.	Parâmetro P13 – Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	119
4.3.10.	Parâmetro P16 – Potencial de ventilação natural	119
4.3.11.	Parâmetro P17 – Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV	120
4.3.12.	Parâmetro P22 – Índice de acessibilidade a amenidades	120
4.3.13.	Parâmetro P23 – Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício	121
4.3.14.	Conclusão da análise comparativa	121
4.4.	Integração dos parâmetros P24 e P25 da dimensão económica da sustentabilidade na estrutura de dados e <i>template</i> SBTTool ^{BIM}	124
5.	Conclusão e Perspetivas Futuras.....	131
5.1.	Conclusão.....	131

5.2. Perspetivas e Desenvolvimentos Futuros.....	133
6. Bibliografia	135
Anexo I.....	150

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões da sustentabilidade (Fonte [20]).	7
Figura 2 - Princípios da construção sustentável (Fonte: [24]).	8
Figura 3 - O ciclo de Vida de um Produto (Fonte:[31])	9
Figura 4 - Categorias e níveis de certificação de ferramentas de avaliação internacional (LEED, BREEAM, CASBEE, and SBTool) (Fonte: [40])	12
Figura 5 - Processo de avaliação e emissão do Certificado de Sustentabilidade (Fonte:[48]).	15
Figura 6 - Estrutura da metodologia SBTool ^{PT} (Fonte:[10]).	17
Figura 7 - Conotações comuns de termos BIM (Fonte:[70]).	23
Figura 8 - Diagrama de venn representativo da interligação dos três campos de atividade do BIM (Fonte:[70]).	24
Figura 9 - As dimensões do BIM (Fonte:[82]).	25
Figura 10 - Nível de detalhe (Fonte:[92]).	27
Figura 11 - Níveis de desenvolvimento (Fonte:[94]).	28
Figura 12 - Nível de informação necessária (Fonte:[96]).	29
Figura 13 - Relação entre Níveis de Desenvolvimento, Detalhe e Informação (Fonte: Elaborada pela autora).	30
Figura 14 - Modo de funcionamento de um IFC (Fonte:[100]).	30
Figura 15 - Estrutura de caracterização da maturidade BIM (Fonte: [75]).	31
Figura 16 - Níveis de Maturidade associados ao BIM (Fonte: [102]).	32
Figura 17 - Processo de gestão da mudança para a implementação BIM (Fonte: [103]).	33
Figura 18 - Classificação hierárquica dos softwares BIM (Fonte: Adaptado de [83]).	33
Figura 19 - Análise quantitativa dos usos BIM de cada fornecedor de softwares BIM (Fonte: [106]).	36
Figura 20 - Estratégias de adoção BIM no ensino (Fonte: adaptado de [113]).	39
Figura 21 - Sede da Vodafone no Porto (Fonte: [115]).	41
Figura 22 - Terminal de Cruzeiros, Leixões (Fonte: [116]).	41
Figura 23 - Avaliação do Ciclo de Vida (Fonte: [130]).	44
Figura 24 - Facilities management (Fonte:[131]).	45
Figura 25 - Shanghai Tower (Fonte: [137]).	48
Figura 26 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício (Fonte: [140]).	53

Figura 27 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção (Fonte:[140]). ..	54
Figura 28 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção, por época de construção do edifício (Fonte: [140]).....	54
Figura 29 - Soluções construtivas utilizadas nas paredes em Portugal, por época de construção do edifício (Fonte:[142]).	55
Figura 30 - Pavimento de madeira e de betão armada (Fonte: [144]).....	56
Figura 31 - Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação ((Fonte:[140]).	57
Figura 32 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por época de construção do edifício ((Fonte:[140]).	57
Figura 33 - Consumo de energia no setor doméstico (Fonte: [145]).	58
Figura 34 - Distribuição do consumo de energia final no setor doméstico (Fonte: [145]).	58
Figura 35 - Dependência energética de Portugal (Fonte: [145]).	58
Figura 36 - Dependência energética na UE-28 em 2018 (Fonte: [145]).	59
Figura 37 - Fontes de energia primária e final 2020 (Fonte:[146]).	59
Figura 38 - Fração de fontes de energia renovável (FER) no consumo final bruto de energia (CFBE) (Fonte:[146])......	59
Figura 39 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de uso (Fonte: [147]).	60
Figura 40 - Classe energética do parque habitacional em 2019 (Fonte: [145]).....	60
Figura 41 - Processo de investigação (Fonte: Elaborada pela autora).	62
Figura 42 - Estrutura da metodologia SBTTool ^{PT} -H (Fonte: [148]).	64
Figura 43 - Integração dos parâmetros económicos na estrutura BIM do SBTTool (Fonte: Elaborada pela autora).	69
Figura 44 - Vista área da habitação em estudo (Fonte: imagens retiradas do Google Maps).....	70
Figura 45 - Plantas da garagem, dos pisos habitacionais e da cobertura (Fonte: Elaborada pela autora).	71
Figura 46 - Área Previamente Edificada (Fonte: Elaborada pela autora).....	72
Figura 47 - Planta cotada do rés-do-chão (Fonte: Elaborada pela autora).	73
Figura 48 - Paredes exteriores (Fonte: Elaborada pela autora).	75
Figura 49 - Paredes exteriores em contacto com o terreno (Fonte: Elaborada pela autora).	75
Figura 50 - Paredes interiores (Fonte: Elaborada pela autora).	75
Figura 51 - Lajes (Fonte: Elaborada pela autora).	76
Figura 52 - Laje do terraço (Fonte: Elaborada pela autora).....	76

Figura 53 - Cobertura (Fonte: Elaborada pela autora).	76
Figura 54 - Área Bruta Total (Fonte: Elaborada pela autora).	79
Figura 55 - Área da Parcela (Fonte: Elaborada pela autora).	79
Figura 56 - Área impermeável (Fonte: Elaborada pela autora).	80
Figura 57 - Áreas permeáveis (Fonte: Elaborada pela autora).	80
Figura 58 - Área previamente edificada (Fonte: Elaborada pela autora).	81
Figura 59 - Planta representativa da área de plantas autóctones (Fonte: Elaborada pela autora).	82
Figura 60 - Planta representativa da área verde total (Fonte: Elaborada pela autora).	82
Figura 61 - Planta da cobertura (Fonte: Elaborada pela autora).	83
Figura 62 - Área habitável onde é possível a ventilação cruzada (Fonte: Elaborada pela autora).	87
Figura 63 - Área habitável total (Fonte: Elaborada pela autora).	87
Figura 64 - Área útil de pavimento (Fonte: Elaborada pela autora).	88
Figura 65 - Área de aberturas para o exterior (Fonte: Elaborada pela autora).	88
Figura 66 - Arquitetura da garagem (Fonte: Elaborada pela autora).	94
Figura 67 - Arquitetura do Rés-do-chão (Fonte: Elaborada pela autora).	95
Figura 68 - Arquitetura do Piso 1 (Fonte: Elaborada pela autora).	95
Figura 69 - Cobertura (Fonte: Elaborada pela autora).	96
Figura 70 - Modelo Revit do caso de estudo (Fonte: Elaborada pela autora).	96
Figura 71 - Divisões da topografia (Fonte: Elaborada pela autora).	97
Figura 72 - Legenda da garagem (Fonte: Elaborada pela autora).	97
Figura 73 - Legenda do Rés-do-chão (Fonte: Elaborada pela autora).	97
Figura 74 - Legenda do Piso 1 (Fonte: Elaborada pela autora).	97
Figura 75 - Criação do parâmetro Maximum Land Use Index (Fonte: Elaborada pela autora).	98
Figura 76 - Parâmetro: Maximum Land Use Index (Fonte: Elaborada pela autora).	98
Figura 77 - Classificação do parâmetro P2 (Fonte: Elaborada pela autora).	99
Figura 78 - Criação do parâmetro Sealed Soil (Fonte: Elaborada pela autora).	99
Figura 79 - Parâmetro: Sealed soil (Fonte: Elaborada pela autora).	99
Figura 80 - Classificação do parâmetro P3 (Fonte: Elaborada pela autora).	100
Figura 81 - Criação do parâmetro Pre-contaminated area (Fonte: Elaborada pela autora).	100
Figura 82 - Parâmetro: Pre-contaminated area (Fonte: Elaborada pela autora).	100
Figura 83 - Classificação do parâmetro P4 (Fonte: Elaborada pela autora).	101
Figura 84 - Criação do parâmetro Native plants area (Fonte: Elaborada pela autora).	101

Figura 85 - Parâmetro: Native plants area (Fonte: Elaborada pela autora).	101
Figura 86 - Classificação do parâmetro P5 (Fonte: Elaborada pela autora).	102
Figura 87 - Criação do parâmetro Reflectance (Fonte: Elaborada pela autora).	102
Figura 88 - Parâmetro: Reflectance (Fonte: Elaborada pela autora).	102
Figura 89 - Classificação do parâmetro P6 (Fonte: Elaborada pela autora).	103
Figura 90 - Parâmetros: Reused material (Fonte: Elaborada pela autora).	103
Figura 91 - Wall Schedule (Fonte: Elaborada pela autora).	104
Figura 92 - Parâmetro: Cost (Fonte: Elaborada pela autora).	104
Figura 93 - Classificação do parâmetro P9 (Fonte: Elaborada pela autora).	104
Figura 94 - Criação dos parâmetros Organic material e Certified wood (Fonte: Elaborada pela autora).	105
Figura 95 - Parâmetros: Certified wood e Organic material (Fonte: Elaborada pela autora).	105
Figura 96 - Classificação do parâmetro P11(Fonte: Elaborada pela autora).	106
Figura 97 - Criação dos parâmetros Total binder weight e Total cement substitutes (Fonte: Elaborada pela autora).	106
Figura 98 - Parâmetros: Total binder weight e Total cement substitutes (Fonte: Elaborada pela autora).	106
Figura 99 - Classificação do parâmetro P12 (Fonte: Elaborada pela autora).	107
Figura 100 - Interface de preenchimento informativo do parâmetro P13 (Fonte: Elaborada pela autora).	107
Figura 101 - Classificação do parâmetro P13 (Fonte: Elaborada pela autora).	108
Figura 102 - Parâmetro: Mechanical ventilation (Fonte: Elaborada pela autora).	108
Figura 103 - Parâmetro: Ventilation grille (Fonte: Elaborada pela autora).	109
Figura 104 - Parâmetro: Ventilation grille (Fonte: Elaborada pela autora).	109
Figura 105 - Parâmetros: Out of P16 scope e Cross ventilation (Fonte: Elaborada pela autora).	109
Figura 106 - Classificação do parâmetro P16 (Fonte: Elaborada pela autora).	110
Figura 107 - Criação do parâmetro Low COV content (Fonte: Elaborada pela autora).	110
Figura 108 - Parâmetro: Low COV content (Fonte: Elaborada pela autora).	111
Figura 109 - Classificação do parâmetro P17 (Fonte: Elaborada pela autora).	111
Figura 110 - Criação do parâmetro P22 (Fonte: Elaborada pela autora).	111
Figura 111 - Lista de distância à amenidade (Fonte: Elaborada pela autora).	112
Figura 112 - Classificação do parâmetro P22 (Fonte: Elaborada pela autora).	112

Figura 113 - Criação do parâmetro P23 (Fonte: Elaborada pela autora).	113
Figura 114 - Lista de distância à amenidade (Fonte: Elaborada pela autora).	113
Figura 115 - Classificação do parâmetro P23 (Fonte: Elaborada pela autora).	113
Figura 116 - Representação dos critérios de caracterização das diversas topografias (Fonte: Elaborada pela autora).	117
Figura 117 - Equação de normalização do parâmetro P24 (Fonte: [45]).	127
Figura 118 - Conversão no Dynamo dos resultados quantitativos numa escala qualitativa graduada (Fonte: Elaborada pela autora).	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de categorias e indicadores de sustentabilidade da metodologia SBTTool ^{PT-H} (Fonte: [10]).	16
Tabela 2 - Pesos das dimensões da sustentabilidade das quatro metodologias (Fonte: [64]).	21
Tabela 3 - Pesos relativos dos critérios económicos (Fonte: [64]).	21
Tabela 4 - Usos BIM e plataformas (Fonte:[106])	35
Tabela 5 - Princípios Lean (Fonte: [110]).	37
Tabela 6 - Funcionalidades BIM (Fontes: [110]).	37
Tabela 7 - Parâmetros avaliados total ou parcialmente com recurso a ferramentas BIM (Fonte: [13]).	51
Tabela 8 - Dimensões e respetivas categorias da sustentabilidade na metodologia SBTTool ^{BIM} (Fonte: [45]).	64
Tabela 9 - Conversão dos parâmetros quantitativos normalizados numa escala qualitativa graduada (Fonte: [45]).	65
Tabela 10 - Pesos de cada dimensão da sustentabilidade na metodologia SBTTool ^{PT-H} (Fonte: [45]). ..	66
Tabela 11 - Síntese das áreas do caso em estudo (Fonte: Elaborada pela autora).	74
Tabela 12 - Dados essenciais à avaliação da sustentabilidade (Fonte: Elaborada pela autora).	77
Tabela 13 - Listagem dos elementos em madeira ou de base orgânica (Fonte: Elaborada pela autora).	84
Tabela 14 - Dados referentes aos materiais de revestimento (Fonte: Elaborada pela autora).	89
Tabela 15 - Distâncias das amenidades à porta do edifício (Fonte: Elaborado pela autora).	90
Tabela 16 - Créditos a atribuir a cada amenidade de acordo com a respetiva classe e distancia à porta principal do edifício (Fonte: [45]).	90
Tabela 17 - Resultados obtidos com o SBTTool ^{PT-H} para cada parâmetro da sustentabilidade (Fonte: Elaborada pela autora).	92
Tabela 18 - Parâmetros Compartilhados criados no Revit (Fonte: Elaborada pela autora).	94
Tabela 19 - Resultados obtidos com o SBTTool ^{BIM} para cada parâmetro da sustentabilidade (Fonte: Elaborada pela autora).	114
Tabela 20 - Comparação entre classificação (Fonte: Elaborada pela autora).	115
Tabela 21 - Análise dos inputs necessários à avaliação do parâmetro P24 (Fonte: Elaborada pela autora).	124

Tabela 22 - Análise dos inputs necessários à avaliação do parâmetro P25 (Fonte: Elaborada pela autora).	
.....	125
Tabela 23 - Critérios necessários à avaliação do parâmetro P24 (Fonte: Elaborada pela autora).....	126
Tabela 24 - Critérios necessários à avaliação do parâmetro P25 (Fonte: Elaborada pela autora).....	128

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
AQS	Águas quentes sanitárias
A_U	Área útil de pavimento do edifício ou fração (m ²)
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BEAM	<i>Building Environmental Assessment Method</i>
BEM	<i>Building Energy Model</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CASBEE	<i>Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency</i>
CE	Comissão Europeia
FM	<i>Facility Management</i>
i	Taxa Euribor a 12 meses em vigor no momento da avaliação
IES	<i>Integrated Environmental Solutions</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
iiSBE	<i>International Initiative for a Sustainable Built Environment</i>
INETI	Instituto Nacional de Engenharia
LDPE	Polietileno de baixa densidade
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LFTC-UM	Laboratório de Física das Construções e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho
LOD	<i>Level of development</i>
LOIN	<i>Level of Information Need</i>
LPV	Linguagem de programação visual
MAS	Métodos de avaliação da sustentabilidade
MEP	<i>Mechanical, Electrical, Plumbing and Piping</i>

n	Número convencional de ocupantes em função da tipologia do edifício ou fração autónoma. Este valor poderá ser consultado no Despacho n.º 15793-I/2013
n	Duração prevista para o ciclo de vida do edifício (em anos). Na ausência deste valor no projeto, considerar uma duração de 50 anos.
η_a	Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de AQS
N_i	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência kWh/(m².ano)
η_i	Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de aquecimento
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento kWh/(m².ano)
N_v	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência kWh/(m².ano)
η_v	Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento kWh/(m².ano)
ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Poder Calorífico Inferior
PDM	Plano Diretor Municipal
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PVC	Policloreto de vinila
QA	Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS em edifícios de habitação (kWh/ano)
QA, Ref	Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência (kWh/ano)
RGEU	Regulamento Geral das Edificações Urbanas
RP	Prioridade regional
SBTool	<i>Sustainable Building Tool</i>
SBTool ^{BIM}	<i>Sustainable Building Tool BIM-based</i>
SBTool ^{PT-H}	<i>Sustainable Building Tool for Housing in Portugal</i>
T_a	Custo anual de 1kWh de eletricidade, ou da energia equivalente, utilizada no equipamento do sistema de aquecimento das águas sanitárias (€/kWh).
T_{AS}	Custo anual correspondente à drenagem de águas residuais (geralmente calculado em função da captação de água potável)

T_{AP}	Tarifa de água potável do sistema publico de abastecimento de água (€/m³). Considera-se a tarifa média mensal em função dos escalões de consumo alcançados e das respetivas tarifas
T_{EE}	Custo de 1kWh de eletricidade em tarifa doméstica simples com IVA incluído (€/kWh). Os custos correspondentes à potência contratada e à taxa de exploração não são considerados.
TI	Tecnologia da Informação
T_i	Custo anual de 1kWh de eletricidade, ou da energia equivalente, utilizada no equipamento do sistema de aquecimento ambiente (€/kWh).
T_{RS}	Custo anual correspondente à recolha de resíduos sólidos urbanos (geralmente calculado em função da capitação de água potável)
T_v	Custo anual de 1kWh de eletricidade, ou da energia equivalente, utilizada no equipamento do sistema de arrefecimento ambiente (€/kWh).
UCs	Unidades Curriculares
UE	União Europeia
XML	<i>Extensible Markup Language</i>
XPS	Poliestireno extrudido

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O impacto das edificações no meio ambiente tem sido alvo de preocupação nas últimas décadas. De facto, a relação entre o setor dos edifícios e os problemas ambientais já foi comprovada e aceite pela comunidade científica [1],[2]. No entanto, atualmente, a adoção de soluções sustentáveis no setor da construção não se considera fundamental, embora este seja um dos principais setores contribuintes para a degradação do ambiente [3]. É importante referir que o setor da construção contribui para 36% a 38% das emissões de gases com efeito de estufa na União Europeia (UE), representa 40% do consumo de energia e consome metade das matérias-primas. Por estas razões, é de extrema importância o desenvolvimento de novas e mais sustentáveis metodologias de construção [4].

De forma a avaliar e minimizar os impactos ambientais, sociais e económicos, surge a procura por melhores condições de habitabilidade e edifícios mais sustentáveis que possibilitam o desenvolvimento de novas metodologias e ferramentas que permitem reduzir esses mesmos impactos [2],[3],[5].

Neste contexto, a Comissão Europeia (CE) propôs um novo Plano de Ação para a Economia Circular em março de 2020, tendo por base o objetivo de neutralidade climática da UE até 2050 no âmbito do Pacto Ecológico [6]. Este, foca-se na gestão de resíduos e na sua prevenção, tendo como objetivo incentivar a competitividade, crescimento e liderança global da UE neste domínio. Segundo o plano da CE, a área da construção é evidenciada como um dos setores indispensáveis para o alcance de uma economia circular. Pretende-se aumentar os objetivos traçados para a diminuição da pegada de carbono dos materiais, os requisitos mínimos em matéria de eficiência energética e de recursos, assim como, aumentar a vida útil dos edifícios [7].

Para tal, é necessário compreender o conceito de sustentabilidade e construção sustentável. Um conceito de sustentabilidade retirado do relatório de Brundtland de 1987 descreve: “*desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de responder às suas próprias necessidades*” [8]. Atualmente, este conceito é abordado a nível ambiental, social e económico. Assim, a adoção de processos mais eficientes implica a consciencialização das autoridades e da sociedade de forma que as principais dimensões da sustentabilidade – ambiental, social e económica – sejam abordadas e se encontrem em equilíbrio [9].

De modo a limitar as consequências negativas dos edifícios no que refere a questões de sustentabilidade, diversas ações de avaliação dos impactos ambientais foram adotadas, com recurso a várias ferramentas, metodologias e ações de diminuição dos efeitos das operações e materiais construtivos. Dentro destas, destacam-se os métodos de avaliação da sustentabilidade dos edifícios (MAS), que têm como objetivo avaliar o nível de sustentabilidade de edifícios, apoiar a tomada de decisão e promover a introdução de medidas sustentáveis [10].

Alguns dos principais métodos são a *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), a *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e a *Sustainable Building Tool* (SBTool) [11],[4],[12]. No contexto português, a Universidade do Minho e o *International Initiative for a Sustainable Built Environment* (iiSBE) Portugal realizaram a transcrição da metodologia internacional SBTool para o contexto nacional, através do desenvolvimento de várias metodologias de avaliação para edifícios e áreas urbanas, nas quais se destaca o *Sustainable Building Tool for Housing in Portugal* (SBTool^{PT-H}) para edifícios residenciais. Através do SBTool^{PT-H}, é possível classificar e certificar o desempenho de cada projeto e/ou edifício, relativamente ao seu nível de sustentabilidade, com base na quantificação de vários indicadores de sustentabilidade, categorizados e agrupados em diferentes dimensões. Nesta metodologia, os três pilares do desenvolvimento sustentável são considerados e a classificação de um edifício está dependente da comparação do seu desempenho em dois *benchmarks*: prática convencional nacional e a melhor prática nacional. No final, realiza-se a emissão de um certificado de sustentabilidade composto pela identificação do edifício, uma etiqueta de sustentabilidade e o desempenho em cada categoria [10]. A utilização destes métodos permite a implementação e divulgação de medidas sustentáveis em projetos de construção, a avaliação e monitorização do desempenho dos mesmos e a recolha de informação que auxilie a tomada de decisão dos projetistas nas diferentes fases de um projeto, a nível ambiental, económico e social [2], [10].

Apesar da introdução destas metodologias ser um benefício para a área da construção civil, a sua implementação tem-se mostrado problemática. Tal deve-se ao facto da sua aplicação consistir num processo iterativo que requer informação multidisciplinar do edifício e demorosos cálculos. Consequentemente, quando utilizados, estes métodos são aplicados em fases finais de projeto, usualmente inviabilizando a introdução de soluções de melhoria [13]. Face à necessidade de acelerar e simplificar este processo de avaliação e perante as potencialidades da metodologia *Building Information Modelling* (BIM), torna-se oportuno integrar os métodos de avaliação da sustentabilidade nesta metodologia de trabalho, de forma a que estes beneficiem das suas capacidades, automatizando o processo de avaliação e tornando-o mais expedito [9]. De acordo com Carvalho et. al [4],[13], o BIM

possibilita a automatização da versão residencial do SBTool – SBTool^{PT-H} – tendo sido proposto um sistema rápido e intuitivo para a avaliação sustentável de edifícios, em fases iniciais de projeto - SBTool^{BIM}. Tal sistema, aborda todas as dimensões da metodologia, com especial foco nas dimensões ambiental e social, existindo ainda necessidade de desenvolver os conceitos para a dimensão económica [2], [10].

No entanto, a avaliação da sustentabilidade na dimensão económica é muitas vezes analisada de forma muito indireta, devido ao facto de, no passado, se considerar que os edifícios sustentáveis acresciam 15% ao seu custo inicial comparado com edifícios convencionais. Contudo, este facto não se verifica, sendo que no SBTool^{PT-H} (e restantes metodologias de avaliação da sustentabilidade) a integração da avaliação da sustentabilidade económica é considerada e comprovou-se de grande importância para os edifícios [14]. Atualmente, esta dimensão e o fator do lucro são os aspetos menos abordados em termos de indicadores. Contudo, prevê-se que no futuro próximo, a sustentabilidade e a sua respetiva certificação se torne num valor acrescentado do imóvel, sendo que a redução de custos de utilização do edifício possa compensar o investimento inicial, que se compreende maior do que o das práticas convencionais [15]. Perante a necessidade de automatizar o processo de avaliação da sustentabilidade, considerando as suas dimensões, ambiental, social e económica, e valências, este trabalho visa validar e otimizar a estrutura de dados desenvolvida para a integração do SBTool^{PT-H} na metodologia BIM – SBTool^{BIM} – através da sua aplicação e validação a um caso de estudo representativo do edificado residencial português, assim como consolidar a avaliação dos indicadores económicos na estrutura de dados, de forma a incluir ambos os indicadores no SBTool^{BIM}.

1.2. Objetivos

No contexto de avaliação da sustentabilidade, verifica-se a necessidade de desenvolver um processo mais expedito e simplificado para a realização das respetivas análises, bem como integrar e consolidar a dimensão económica em tal avaliação. Atualmente, a avaliação da sustentabilidade requer o conhecimento de diversas informações do edifício e do local onde se insere, além de um moroso processo de cálculo, que não incentiva à sua aplicação. Dessa forma, um dos principais objetivos da presente investigação, prende-se com o teste e validação da aplicação SBTool^{BIM}, que tem como objetivo a automatização do método de avaliação SBTool. Além disso, a dimensão económica não é, até ao momento, considerada no sistema BIM proposto (devidamente considerada no sistema tradicional), sendo ainda necessário propor um meio de integração para os indicadores económicos.

Deste modo, as principais ambições do presente trabalho passam, inicialmente, pelo desenvolvimento do atual Estado de Arte relativo à avaliação da sustentabilidade em edifícios e a sua respetiva ligação com o BIM. Seguidamente, proceder-se-á à avaliação da sustentabilidade de um edifício residencial português com recurso ao método de avaliação tradicional SBTool^{PT-H}. Desta forma, e após a avaliação do mesmo caso de estudo com recurso às ferramentas BIM, será possível proceder à validação e melhoramento do sistema SBTool^{BIM}. Nesta fase será analisada uma relação comparativa entre os resultados fornecidos pela metodologia SBTool^{BIM} e pelo método tradicional do SBTool^{PT-H}, com o intuito de identificar e explicar as principais diferenças entre ambos, bem como os principais benefícios e limitações do sistema BIM.

Por fim, de forma a compatibilizar os indicadores económicos com o SBTool^{BIM}, será proposto um método de integração viável, onde se irá identificar e caracterizar os requisitos de informação necessários, bem como plataformas, ferramentas e processos BIM para a integração e avaliação dos parâmetros P24 e P25 da dimensão económica no SBTool^{PT-H}.

De forma a atingir as metas propostas para a dissertação será necessário recorrer a meios de pesquisa, tais como bibliografia e documentos existentes inerentes à sustentabilidade, construção sustentável e relativamente à integração de metodologias BIM para a avaliação da sustentabilidade de edifícios. Para além disso, sempre que necessário, serão utilizados tutoriais do *software* selecionado, essenciais à avaliação e compatibilização de todo o processo com a estrutura de dados existente.

1.3. Estruturação e organização

A dissertação compreende 5 capítulos. O primeiro capítulo, Introdução, enquadra o tema da investigação e elabora alguns conceitos centrais, como o impacto do setor da construção no ambiente, algumas metas da UE relativamente à sustentabilidade, os principais MAS e o *research gap* que será preenchido com o desenvolvimento da dissertação, bem como os respetivos objetivos principais. Para além disso, apresenta a motivação por trás deste estudo, bem como a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo, Revisão da Literatura, foca-se na vertente do estado da arte, onde se clarifica o enquadramento da temática abordada e são descritos os conceitos que esta tem por base. O capítulo esclarece e aprofunda temas como a sustentabilidade dos edifícios, a dimensão económica na sustentabilidade, o BIM, o BIM e a sustentabilidade, o BIM e os métodos de avaliação da sustentabilidade

(com foco no SBTool) e é ainda realizada uma caracterização do edificado português, para suporte à seleção do caso de estudo.

O terceiro capítulo, Metodologia, encontra-se dividido em duas partes, o “Desenvolvimento da investigação” e a “Caracterização do caso de estudo”. O primeiro descreve os processos referentes à avaliação da sustentabilidade pelo método tradicional SBTool^{PT-H} e pelo método SBTool^{BIM}. Seguidamente, apresenta a análise comparativa entre as duas metodologias referidas e finaliza com a integração dos parâmetros da dimensão económica da sustentabilidade na estrutura de dados SBTool^{BIM}. A segunda parte apresenta, caracteriza e descreve a seleção do caso de estudo tendo em conta as principais características de um edifício residencial português.

O quarto capítulo, Resultados, expõe os resultados obtidos pela aplicação dos processos descritos no capítulo da Metodologia. Assim, este segue a mesma organização de subcapítulos abordados no capítulo anterior, sendo estes: Método tradicional de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT-H}; Método de avaliação da sustentabilidade com recurso a SBTool^{BIM}; Análise comparativa entre as duas metodologias; e Integração dos parâmetros P24 e P25 da dimensão económica da sustentabilidade na estrutura de dados e *template* SBTool^{BIM}.

No quinto capítulo, Conclusão e Perspetivas Futuras são apresentadas as conclusões da dissertação através da sintetização e análise crítica dos resultados obtidos, bem como sugestões para futuras investigações sobre este tema. Por fim, são também apresentadas as referências bibliográficas e os anexos da investigação.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O seguinte capítulo apresenta uma revisão dos conceitos e temas desenvolvidos nesta dissertação, representando um suporte à implementação da mesma. Neste são expostos seis tópicos distintos: introdução ao tema da i) Sustentabilidade nos edifícios e a sua definição, relevância, campos de aplicação, principais métodos de avaliação da sustentabilidade (com especial ênfase no SBTool), os seus objetivos e a sua conexão com o panorama português; ii) Dimensão económica na sustentabilidade, a sua importância, características e métodos de avaliação, finalizando com a sua aplicabilidade no método SBTool; iii) BIM, o seu conceito, aplicações, benefícios, entraves e a normalização em Portugal; iv) BIM e a sustentabilidade, onde se analisa a potencialidade da relação entre os dois conceitos e as suas principais aplicações; v) BIM e métodos de avaliação de sustentabilidade, sendo expostas as necessidades da aplicabilidade de BIM na avaliação da sustentabilidade, as previsões futuras e a sua importância na avaliação SBTool; e, por fim, vi) Caracterização do edificado português, através do levantamento das suas principais características, de forma à definição de um caso de estudo.

2.1. Sustentabilidade nos edifícios

2.1.1. Conceito de sustentabilidade na indústria da construção

De uma forma geral, sustentabilidade passa pela utilização de recursos naturais de forma a manter condições de equilíbrio que impeçam a decadência, esgotamento ou ponto irrecuperável destes recursos [16]. O termo sustentabilidade ganhou destaque após 1987, quando o Relatório de Brundtland da Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento definiu desenvolvimento sustentável como *“desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de responder às suas próprias necessidades”* [17]. O conceito traduziu-se como uma solução para qualquer país que procura alcançar a conservação ambiental e crescer a nível socioeconómico. Desta forma, é possível garantir o desenvolvimento económico, equidade social e justiça, assim como a proteção ambiental do ecossistema [18].

Em 1992, após a Conferência das Nações Unidas no Rio de Janeiro sobre o Ambiente e Desenvolvimento, concluiu-se que o desenvolvimento sustentável apresenta três pilares fundamentais, relativos a dimensão

económica, social e ambiental, respetivamente [19]. Por conseguinte, a dimensão económica reflete as consequências financeiras para os *stakeholders*; a dimensão social, desempenha o papel de manutenção e melhoria do sistema no que diz respeito a direitos e responsabilidades; e a dimensão ambiental aborda a melhor forma de conservar e gerir os recursos naturais, conforme a Figura 1. A sustentabilidade prevê a mudança dos hábitos de consumo, sem redução da qualidade de vida atual [16].

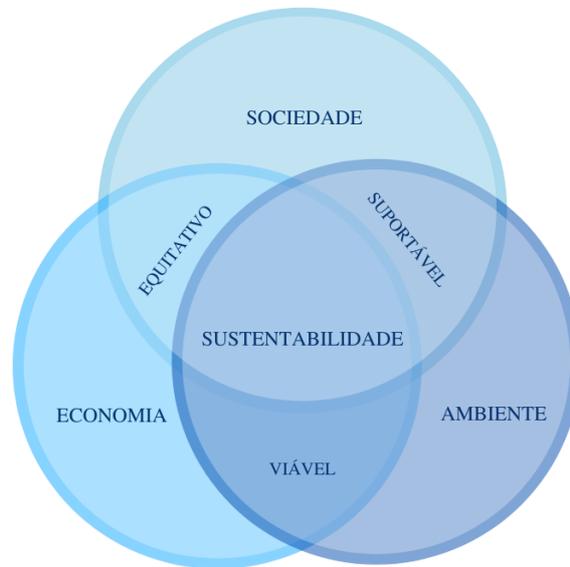


Figura 1 - Dimensões da sustentabilidade (Fonte [20]).

Autores como Sage [21] concordam com estas mesmas dimensões, afirmando que o desenvolvimento sustentável se refere à satisfação das necessidades humanas por meio do progresso simultâneo dos parâmetros socioeconómicos e tecnológicos, bem como na preservação dos sistemas naturais da Terra. Para tal, é também necessário ter particular atenção à preservação dos recursos naturais. Um mundo sustentável depende da evolução económica, social, cultural e do progresso tecnológico [22].

No contexto de desenvolvimento sustentável, a indústria da construção surge com um papel de destaque em relação a impactos ambientais, uma vez que é um dos maiores contribuintes para o consumo de energia e matérias-primas, bem como pela emissão de gases de efeito estufa. A adaptação do conceito de desenvolvimento sustentável aos princípios da indústria da construção, originou o conceito de construção sustentável que pode ser definido como um processo que incorpora os temas básicos da sustentabilidade [22].

Em 1994, surge a Primeira Conferência Internacional sobre a Construção Sustentável em Tampa, na Florida, onde Charles Kibert [23] definiu construção sustentável como “*criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos (para evitar danos*

ambientais) e a utilização eficiente dos recursos”, considerando o solo, os materiais, a energia e a água como os recursos mais importantes para a construção. A partir destes recursos Kibert estabeleceu 6 princípios para a realização de uma construção sustentável, como se observa na Figura 2.

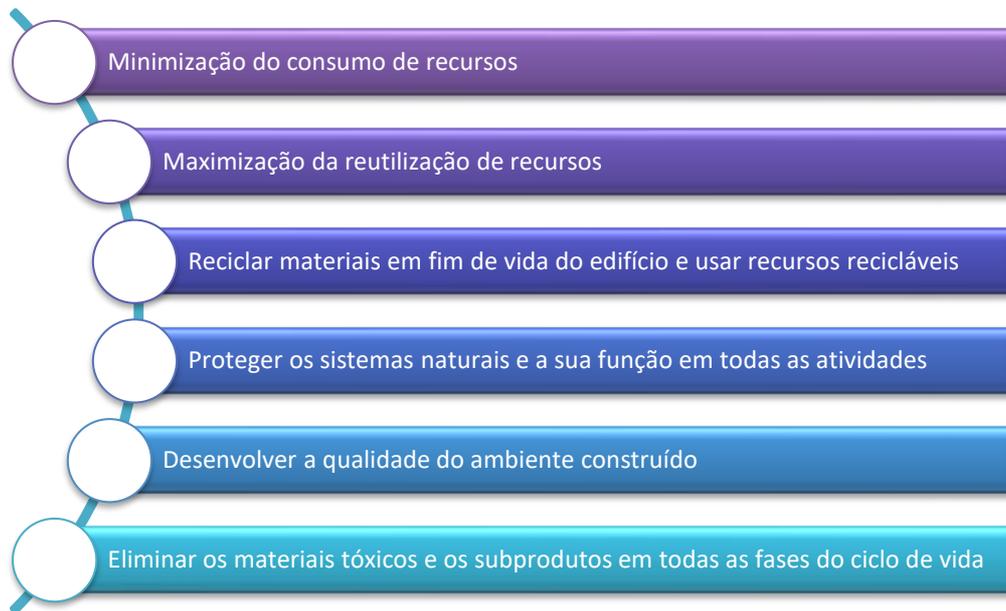


Figura 2 - Princípios da construção sustentável (Fonte: [24]).

De forma a pôr em prática os princípios mencionados de construção sustentável, é necessário a criação de um ambiente construído saudável para uma melhor qualidade de vida, a restauração de ambientes danificados e poluídos e a melhoria dos ambientes áridos [25].

Miyatake [26] sugere que a fim de alcançar construção sustentável, a indústria deve mudar os processos de criação dos ambientes construídos, de modo a introduzir uma mudança nas atuais praticas construção. As atividades deste setor e a elevada utilização de energia, materiais e outros recursos, resulta num grande volume de resíduos ao longo da vida útil das construções, com especial ênfase no seu fim de vida. Surge assim a necessidade de alterar o atual processo linear para um processo cíclico, que trará um maior aproveitamento de recursos, com a incorporação de resíduos reciclados, renovados e reutilizados, bem como uma substancial redução do uso de energia e recursos naturais.

No fundo, um projeto de construção pode ser considerado sustentável quando perante desafios ambientais convencionais de esgotamento de recursos, pondera as necessidades e práticas sociais e culturais, bem como gera crescimento económico ou alivia a pobreza [22].

2.1.2. Aplicação da construção sustentável

A construção sustentável compreende a aplicação de práticas de desenvolvimento sustentável no domínio da indústria da construção [26]. Este setor desempenha um papel importante no que se refere ao desenvolvimento sustentável e à satisfação das necessidades da sociedade, através da melhoria da qualidade de vida da população e como promotora do crescimento económico [27]. No entanto, representa um grande contribuinte para a emissão de gases de efeito estufa, assim como uma das maiores indústrias consumidora de recursos.

Verifica-se que tais impactos se iniciam durante a extração das matérias-primas, prosseguem com a fabricação de produtos e equipamentos, construção e utilização, até à disposição final dos resíduos, conforme a Figura 3. Para além disso, todos estes processos envolvem transporte de materiais e pessoas, o que implica um elevado consumo de energia e emissões de CO₂ [28].

Aproximadamente 50% das matérias-primas processadas da Europa são utilizadas na indústria da construção, sendo cerca de 30% dos resíduos gerados durante a construção e desconstrução. Para além disso, os edifícios são responsáveis por mais de 40% do consumo de energia e um terço das emissões de gases de efeito estufa [22],[29],[30].

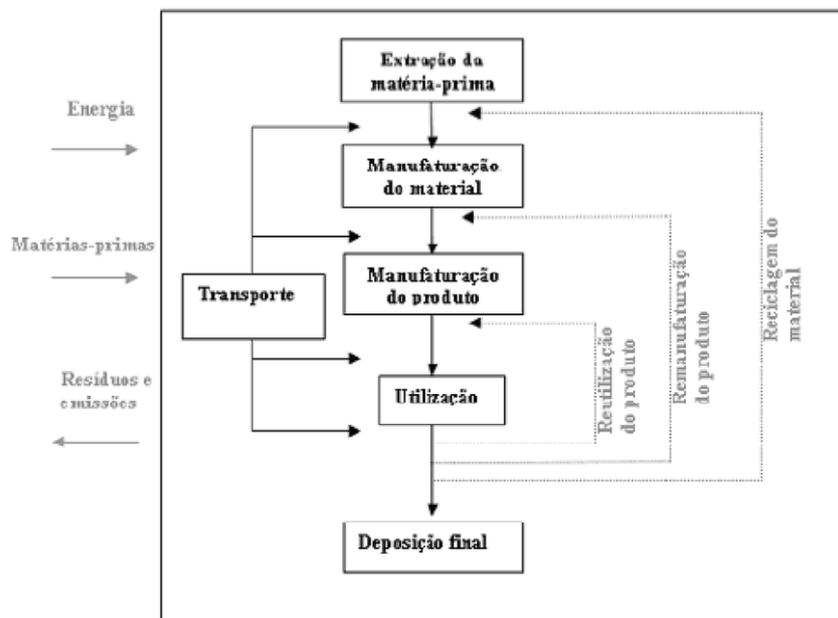


Figura 3 - O ciclo de Vida de um Produto (Fonte:[31])

A sustentabilidade na indústria da construção pode ajudar a atender às necessidades desta geração e das gerações futuras a nível de recursos naturais não renováveis, consumo de energia e de água. Isto é possível através da aplicação dos conceitos de reutilização, reciclagem e *design* inovador, com consequente minimização do desperdício e da poluição. Para tal, é necessário desenvolver estratégias e

processos ligados ao setor da construção que coloquem em prática este conceito de sustentabilidade [29].

De modo a limitar os impactos da indústria da construção no âmbito da sustentabilidade, é necessário consciencializar as autoridades e a sociedade em geral para a adoção de processos mais eficientes e para a construção de edifícios mais sustentáveis [32],[33].

O aumento das preocupações identificadas anteriormente levou à necessidade de avaliar o impacto dos edifícios no meio ambiente. Por esta razão, várias organizações desenvolveram Métodos de Avaliação da Sustentabilidade em Edifícios (MAS), a fim de implementar e disseminar medidas sustentáveis no desenvolvimento de projetos de construção, assim como avaliar e monitorizar o desempenho dos edifícios e recolher informações para apoiar a tomada de decisão nas diferentes fases de um projeto. Alguns destes métodos foram desenvolvidos com o objetivo de serem utilizados em todo o mundo, enquanto outros foram adaptados para se adequarem às especificidades de uma determinada região. Esses métodos são empregues pela avaliação de uma série de características parciais do edifício, que são posteriormente agrupadas numa classificação ambiental, ou numa pontuação de sustentabilidade [3].

2.1.3. Sistemas de avaliação da sustentabilidade de edifícios

Um projeto de construção apenas pode ser considerado sustentável caso o edifício não seja apenas visto como um produto final, mas como um processo onde várias questões da sustentabilidade são entrelaçadas, onde a interação do edifício com a sua envolvente é igualmente considerada. Desta forma, é crucial abordar todas as dimensões da sustentabilidade (ambiente, economia e sociedade), tal como garantir o equilíbrio entre as mesmas [34].

Por esta razão e de modo a limitar as consequências negativas dos edifícios no que refere a questões de sustentabilidade, foram tomadas ações para a avaliação dos impactos ambientais, através da criação de diferentes ferramentas e metodologias, cada uma com as suas peculiaridades e campos de aplicabilidade [35].

O principal objetivo de uma metodologia de avaliação da sustentabilidade consiste em apoiar o desenvolvimento de um projeto de construção, sendo capaz de atingir o equilíbrio mais adequado entre as diferentes dimensões da sustentabilidade. Simultaneamente, esta deve ser prática, transparente e flexível o suficiente para ser facilmente adaptada a diferentes tipos de edifícios e tecnologias [19].

Várias organizações desenvolveram métodos de Avaliação da Sustentabilidade em Edifícios que definem práticas de referência e contribuem para a implementação do desenvolvimento sustentável no setor da construção [3]. Esses sistemas também permitem avaliar e monitorizar o desempenho das edificações e disseminar a importância da adoção de práticas sustentáveis.

Inicialmente, estas metodologias focavam-se apenas em indicadores ambientais, contudo, posteriormente, foi possível compreender a importância das questões sociais e económicas para o desenvolvimento sustentável da construção. Por esta razão, os indicadores sociais e económicos passaram a ser considerados nas ferramentas MAS que, desta forma, avaliam o nível de sustentabilidade dos edifícios através da classificação do desempenho do edifício num grupo de indicadores de sustentabilidade [35].

A primeira ferramenta MAS disponível comercialmente foi o BREEAM, desenvolvido no Reino Unido em 1990 [36]. Até à data, poucas tinham sido as tentativas realizadas para a idealização de um método que abordasse conceitos sustentáveis a nível social, económico e ambiental, bem como os requisitos que compreendem o ambiente construído. O procedimento de avaliação deste sistema consiste na atribuição de pontos em objetivos sustentáveis e políticas de planeamento, de acordo com o desempenho do projeto. A sua soma representa uma pontuação global final que varia entre "*Pass*", "*Good*", "*Very Good*", "*Excellent*" e "*Outstanding*". A certificação é regulamentada por um "conselho de sustentabilidade", que representa uma ampla gama de *stakeholders* da indústria da construção no Reino Unido [10].

Desde o aparecimento da BREEAM surgiram, em diferentes países, diversos sistemas de avaliação voluntários de sustentabilidade de edifícios, como se observa na Figura 4.

Em 1993, surgiu a LEED, uma metodologia norte-americana que tem vindo a ser amplamente adaptada em vários países. Com base nos princípios do "Novo Urbanismo", nas teorias do "Crescimento Inteligente" e "Construção Sustentável", esta ferramenta centra-se na seleção local, na associação com edifícios e infraestruturas existentes e na relação com o meio ambiente [10],[37].

Em 1996, estabeleceu-se o método SBTool [38], desenvolvido através do trabalho colaborativo de representantes de 20 países, numa iniciativa da associação iiSBE [39]. Este método é considerado um dos mais abrangentes de todos os MAS, uma vez que pode ser ajustado às condições locais de cada região, permitindo a comparação do nível de sustentabilidade de edifícios de diferentes países.

A metodologia SBTTool Internacional está dividida em duas fases. A primeira, Avaliação do Local de Implantação do Projeto, consiste na fase de planeamento e apoia questões macro relacionadas com o contexto local. A segunda, Avaliação do Projeto e Desempenho do Edifício, refere-se às fases de projeto, construção e operação, onde se analisam parâmetros essencialmente relacionados com a renovação/regeneração local, projeto urbano e infraestruturas, bem como outras questões específicas do ambiente construído [10],[14],[4].

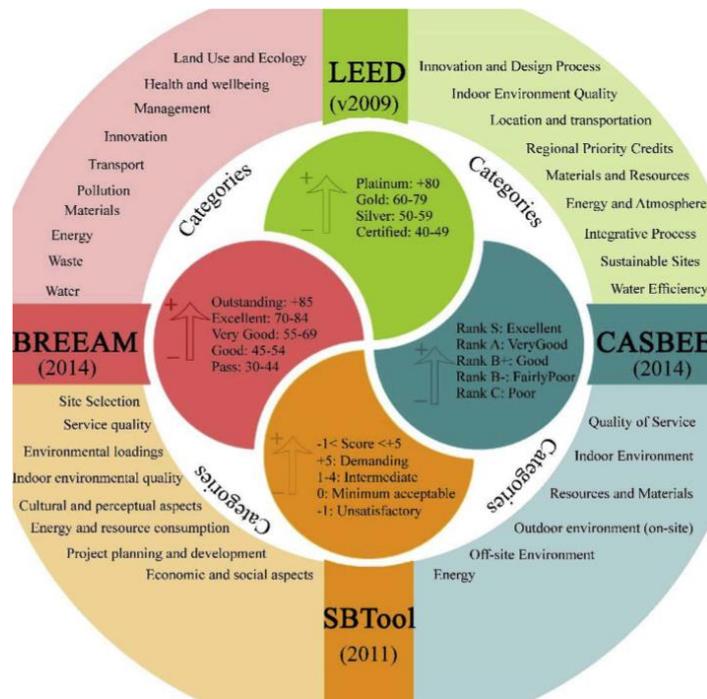


Figura 4 - Categorias e níveis de certificação de ferramentas de avaliação internacional (LEED, BREEAM, CASBEE, and SBTTool) (Fonte: [40])

No ano 2001, o consórcio de edifícios sustentáveis japoneses (JSBC - *Japan Sustainable Building Consortium*) desenvolveu o sistema de classificação para edifícios *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency* (CASBEE) [41]. Em 2005, este sistema foi lançado no mercado internacional e, a partir de 2011, a sua utilização passou a ser obrigatória em 24 municípios japoneses. O CASBEE foi desenvolvido como uma metodologia simples que considera os problemas peculiares do Japão e da Ásia. É aplicável a uma ampla variedade de edifícios e está estruturada para conceder avaliações altas, aumentando assim os incentivos aos projetistas e outros [20].

Em Hong Kong foi desenvolvido o *Building Environmental Assessment Method* (HK-BEAM) com o objetivo de auxiliar projetistas, construtores e gestores de projeto, assim como assistir na gestão de edifícios locais de maneira sustentável.

O HK-BEAM estabelece mais de 100 critérios ambientais de melhores práticas para uma série de questões - desde eficiência energética e materiais de construção, à poluição associada à construção e qualidade do ambiente interior - em relação às quais o desempenho da construção pode ser avaliado e as melhorias ambientais incentivadas. Este é um esquema de certificação independente que incentiva a colaboração entre as partes interessadas na indústria da construção, para atingirem objetivos ambientais comuns em termos de projeto e gestão de instalações. HK-BEAM incentiva o uso de melhores práticas ambientais para o ciclo de vida de um edifício, nas áreas de planeamento, projeto, construção, utilização, manutenção e eventual desconstrução [42].

Em 2003, o *Green Building Council* da Austrália fundou o *Green Star*, um sistema de classificação reconhecido internacionalmente e desenvolvido para o meio ambiente australiano. O *Green Star* certificou milhares de equipamentos, edifícios, casas e comunidades sustentáveis em toda a Austrália, possibilitando a redução do impacto das mudanças climáticas e melhorando a saúde e qualidade de vida dos seus habitantes. Para além disso, esta metodologia proporciona a reparação e proteção da biodiversidade e dos ecossistemas do planeta, assim como impulsiona a resiliência em edifícios, instalações e comunidades, contribuindo para a transformação do mercado numa economia mais sustentável [43].

Em Portugal, em meados de 2005 surgiu o primeiro sistema, o LiderA, acrónimo de Liderar pelo Ambiente para a construção sustentável. O sistema ambiciona apoiar a procura da sustentabilidade na promoção, projeto, construção e gestão da mesma nos ambientes construídos. O âmbito da sua aplicação assenta num conjunto de seis critérios de bom desempenho ambiental (integração local, recursos, cargas ambientais, conforto ambiental, vivência socioeconómica e utilização sustentável), traduzidos em 22 áreas e 43 critérios, nos quais se avaliam os ambientes construídos em função do seu desempenho sustentável. Após um processo de verificação independente pelo LiderA e caso se comprove o desempenho na procura da sustentabilidade de classe “C” ou superior, o LiderA reconhece o bom desempenho na fase de plano e projeto [26].

Na última década registou-se um crescente interesse pela sustentabilidade e pelo desenvolvimento sustentável devido à necessidade urgente da redução mundial das emissões de gases de efeito estufa, para segurança do planeta e para a saúde da sociedade global. Tal facto teve um impacto notável na

indústria da construção civil e, conseqüentemente, foram desenvolvidos uma variedade de métodos de classificação com diferentes propósitos e recursos para melhorar a sustentabilidade dos edifícios [20]. No entanto, a aplicação de MAS requer o conhecimento de uma elevada quantidade de informação, sendo um processo demorado e complexo. Embora se destinem a ser usados durante a fase do projeto para apoiar a tomada de decisão, os edifícios são frequentemente avaliados durante as fases finais de construção. Nessas fases, fazer alterações para melhorar a sustentabilidade da construção tem custos mais elevados, não sendo considerado viável na maioria das vezes. Para além disso, quando é introduzida uma mudança no projeto, todo o processo de avaliação deve ser repetido. Por esta razão, a aplicação de MAS costuma ser um processo ineficiente devido aos prazos dos projetos. De forma a superar essa restrição é necessário reduzir o tempo e a complexidade da avaliação, automatizando e simplificando os procedimentos de avaliação da sustentabilidade [14].

2.1.4. SBTool e a conexão com o panorama português

A iiSBE – Portugal consiste numa associação sem fins lucrativos que representa a missão da iiSBE em Portugal e constitui um fórum nacional de discussão acerca de iniciativas de construção sustentável. Estas iniciativas desenvolvem-se nas diversas entidades locais e regionais que participam na construção sustentável e promovem o conhecimento sobre a construção sustentável [44]. Atualmente, juntamente com outras instituições nacionais, a iiSBE - Portugal está a desenvolver um sistema de avaliação composto por um conjunto de métodos específicos para cada tipologia de construção [45]. A iiSBE Portugal responsável pela adaptação do SBTool à realidade nacional, pela certificação da sustentabilidade de edifícios, pela promoção de iniciativas de carácter normativo e legislativo e pela formação de Avaliadores Qualificados em Avaliação da Construção Sustentável [46],[44].

Em 2009, apresentou o método de avaliação da sustentabilidade da construção, SBTool^{PT}. Esta Ferramenta de Construção Sustentável Portuguesa foi desenvolvida pelo Laboratório de Física das Construções e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho (LFTC-UM), em coordenação com a iiSBE - Portugal e a empresa de consultoria privada Ecochoice, SA [44],[47].

O SBTool^{PT} utiliza os mais recentes conhecimentos sobre construção sustentável a nível internacional e caracteriza-se pela sua facilidade de utilização, compreendendo um número compacto de indicadores. Para além disto, esta metodologia é suficientemente abrangente, pelo que inclui os aspetos mais relevantes da sustentabilidade de forma a dar resposta à crescente necessidade de avaliar a sustentabilidade dos edifícios, assim como promover práticas de projeto e construção mais sustentáveis

[44]. Na Figura 5 representa-se esquematicamente o processo de avaliação e emissão do Certificado de Sustentabilidade [48].



Figura 5 - Processo de avaliação e emissão do Certificado de Sustentabilidade (Fonte:[48]).

Uma das principais vantagens do SBTool^{PT} é possibilitar a comparação entre avaliações de edifícios em vários países, por possuir as mesmas premissas de avaliação e uma base de cálculo equivalente. Para além disso, permite que empreendimentos de uma mesma organização em várias regiões do mundo trabalhem com apenas um sistema [48].

De entre os casos de estudo concluídos pelo sistema SBTool^{PT}, destacam-se o Empreendimento Multifamiliar de Ponte da Pedra, em Matosinhos, classificado com uma Nota Global de Sustentabilidade “A” e o Empreendimento Multifamiliar de Armação de Pêra, classificado com uma Nota Global de Sustentabilidade “B”. Outros edifícios avaliados passam pelo Edifício Solar XXI, do Instituto Nacional de Engenharia (INETI), bem como outros edifícios ao longo do país [48].

Atualmente, este método pode ser aplicado à escala de edifícios residenciais, de serviços, hospitalares, escolas, áreas urbanas, entre outros. No que se refere ao panorama residencial nacional, foi desenvolvido o SBTool^{PT}-H, que permite avaliar a sustentabilidade de edifícios residenciais existentes, novos e renovados, especificamente no contexto português. Para além disso, o SBTool^{PT}-H permite a classificação do desempenho de cada projeto e a sua certificação relativamente ao seu nível de sustentabilidade, tendo por base a quantificação de vários indicadores de sustentabilidade categorizados e agrupados em diferentes dimensões, de acordo com a Tabela 1 [4],[10].

Tabela 1 - Lista de categorias e indicadores de sustentabilidade da metodologia SBTool^{PT-H} (Fonte: [10]).

Dimensões	Categorias	Indicadores	Parâmetros	
Ambiental	C1 – Alterações climáticas e qualidade do ar exterior	Impacto ambiental associado ao ciclo de vida dos edifícios	P1 Valor agregado das categorias de impacto ambiental de ciclo de vida do edifício por m ² de área útil de pavimento e por ano	
		C2 – Uso do solo e biodiversidade	Densidade Urbana	P2 Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível
			Reutilização de solo previamente edificado ou contaminado	P3 Índice de impermeabilização
			Uso de plantas autóctones	P4 Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada
		C3 – Energia	Efeito de ilha de calor	P5 Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones
			Energia primária não renovável	P6 Percentagem de área em planta com refletância igual ou superior a 60%
	Energia produzida localmente a partir de fontes renováveis		P7 Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização	
	C4 – Materiais e Resíduos Sólidos	Reutilização de materiais	P8 Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis	
		Utilização de materiais reciclados	P9 Percentagem de materiais utilizados	
		Recurso a materiais certificados	P10 Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício	
		Uso de substitutos de cimento no betão	P11 Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	
	C5 – Água	Condições de armazenamento de resíduos sólidos durante a fase de utilização do edifício	P12 Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	
		Consumo de água	P13 Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	
		Reutilização e utilização de água não potável	P14 Volume anual de água consumido per capita no interior do edifício	
			P15 Percentagem de redução do consumo de água potável	
Social	C6 – Conforto e Saúde dos Utilizadores	Eficiência da ventilação natural em espaços interiores	P16 Potencial de ventilação natural	
		Toxicidade dos materiais de acabamento	P17 Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV	
		Conforto Térmico	P18 Nível de conforto térmico médio anual	
		Conforto Visual	P19 Média do Fator de Luz do Dia Médio	
	C7 – Acessibilidade	Conforto Acústico	P20 Nível médio de isolamento acústico	
		Acessibilidade a transportes públicos	P21 Índice de acessibilidade a transportes públicos	
		Acessibilidade a amenidades	P22 Índice de acessibilidade a amenidades	
Económica	C8 – Sensibilização e educação para a sustentabilidade	Formação dos ocupantes	P23 Disponibilidade e conteúdo do Manual de Utilizador do Edifício	
		C9 – Custos de ciclo de vida	P24 Valor do custo do investimento inicial por m ² de área útil	
		Custos de utilização	P25 Valor atual dos custos de utilização por m ² de área útil	

Nesta metodologia, as três variáveis do desenvolvimento sustentável são consideradas e a classificação de um edifício está dependente da comparação do seu desempenho em dois *benchmarks*, a prática nacional convencional e a melhor prática nacional. No final da avaliação, realiza-se a emissão de uma etiqueta de certificação de sustentabilidade e desempenho em cada categoria, segunda a Figura 6 [4],[10].

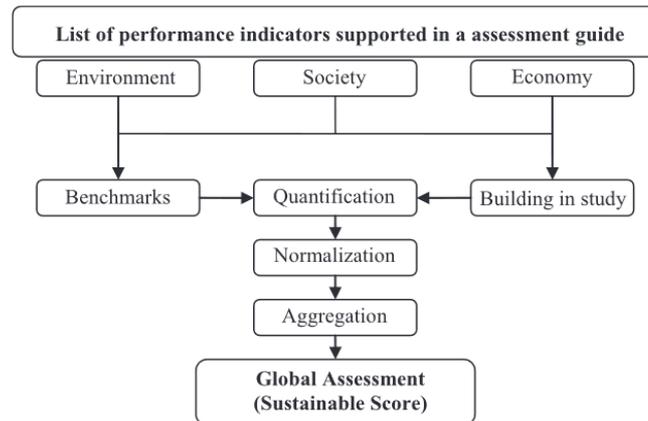


Figura 6 - Estrutura da metodologia SBToolPT (Fonte:[10]).

Com a publicação da metodologia SBToolPT-H, a iiSBE Portugal pretende contribuir para a promoção e adoção de soluções alternativas às soluções e processos de construção convencionais, assim como promover um futuro mais sustentável para a construção [15],[45]. Atualmente, a adoção de soluções sustentáveis no setor da construção não se considera fundamental, embora estas permitam ponderar e simular determinados fatores intrínsecos à utilização do edifício, como também compreender os impactos que poderão apresentar a nível ambiental, social e económico [32],[49].

Portanto, pretende-se a adoção de medidas com custos e tempos de execução semelhantes aos da construção convencional, que permitam a criação de edifícios de maior qualidade funcional, de modo que os edifícios de habitação sejam mais compatíveis com os objetivos do Desenvolvimento Sustentável [45].

2.2. Dimensão económica na sustentabilidade

A economia contempla no seu conceito o conjunto de atividades desenvolvidas visando a produção, distribuição e o consumo de bens e serviços necessários à sobrevivência e à qualidade de vida [50].

Desta forma, a economia assume responsabilidade na crescente degradação ecológica e na escassez de recursos naturais [51]. A sustentabilidade surge como um critério normativo para a reconstrução da economia e a dimensão económica procura o desenvolvimento de uma economia que gera uma melhor qualidade de vida e que, simultaneamente, contenha o menor impacto ambiental possível [52].

A partir de 1950 verificou-se um grande crescimento económico em quase todo o mundo devido ao impulso na atividade industrial e ao crescimento populacional. Consequentemente, a expansão do número de consumidores aumentou significativamente a poluição atmosférica e a utilização de recursos naturais [53].

A crise ambiental e a emergência da problemática do aquecimento global nos anos 1990 teve um impacto importante no debate sobre desenvolvimento sustentável. No que se refere especificamente aos problemas de degradação ambiental, o argumento utilizado pelos representantes empresariais defendia que os custos com o controle da poluição comprometeriam a lucratividade, a competitividade e a oferta de empregos, resultando em prejuízo para os trabalhadores, acionistas e consumidores. Nesse contexto, de forma a se absolver de qualquer responsabilidade e obrigação de reverter o problema, a estratégia das empresas foi externalizar os custos ambientais, ou seja, transferi-los para a sociedade [54].

O livro “Blueprint for a green Economy” [55], publicado em 1989, foi um dos primeiros estudos económicos a fazer a ligação entre a abordagem do capital natural em relação ao desenvolvimento sustentável e a economia verde. Os autores argumentam que o desenvolvimento sustentável se torna inalcançável, uma vez que as economias estão voltadas para a redução do capital natural a fim de assegurar o seu crescimento [56].

Perante vários debates que surgiram sobre a necessidade de transição para uma economia verde, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA - tomou a iniciativa de lançar o tema: Economia Verde.

Em junho de 2012, a conferência Rio+20 da Organização das Nações Unidas (ONU) abordou o tema da “Economia Verde” ou, mais precisamente, como as economias podem alcançar o “crescimento verde” [56], [57]. Este conceito, é considerado como um caminho para alcançar a sustentabilidade, tendo o

reconhecimento de organizações internacionais como o Banco Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Além disso, a Economia Verde tem sido utilizada para enfrentar a crise financeira e as mudanças climáticas, sendo um elemento essencial no alcance das metas de mitigação climática. Na escala nacional, vários países têm desenvolvido estratégias, políticas e programas de Economia Verde [58]. Na União Europeia, um uma série de medidas relacionadas ao conceito de Economia Verde foram integradas em documentos estratégicos como o “Europe 2020” e o “The Roadmap to a Resource Efficient Europe” [59].

Desta forma, compreende-se que a dimensão ambiental da sustentabilidade abrange diferentes questões ambientais como por exemplo mudanças climáticas, recursos renováveis, energia e capital natural, enquanto a dimensão económica abrange diversos aspetos económicos como desenvolvimento, crescimento, custo ou competitividade, sendo a dimensão social a menos representada. A ênfase nestes três aspetos da sustentabilidade comprova as fortes ligações entre Economia Verde e a sustentabilidade [58].

Assim, a Economia Verde é uma ferramenta importante para o alcance da sustentabilidade e da sua dimensão económica. Esta iniciativa tem o potencial de ser um novo vetor de crescimento, uma rede criadora de empregos e uma estratégia vital para eliminar a pobreza persistente. No entanto, para atingir este resultado são necessárias mudanças na economia, na conduta dos governos, da sociedade civil, dos consumidores e das entidades privadas e públicas.

No seguimento deste conceito enquadra-se a Ecologia Industrial que consiste num campo de pesquisa que integra noções de sustentabilidade aos sistemas ambientais, sociais e económicos. O uso de energia e materiais é otimizado, enquanto a produção de resíduos é minimizada, de forma a tornar um rendimento linear num circuito fechado de materiais e utilização de energia [60]. Os elementos centrais da Ecologia Industrial são: uma visão sistémica e integrada de todos os componentes da Economia Industrial e das suas relações com a biosfera; o papel da mudança tecnológica como um elemento crucial, mas não exclusivo, para a transição do sistema industrial insustentável para um ecossistema industrial viável; o equilíbrio da produção, evitando grandes impactos ambientais; a consciência das condições sociais e necessidades económicas das comunidades locais, criando oportunidades de emprego, mitigando os impactos da atividade industrial; e a desmaterialização que procura a redução do consumo de energia e materiais [61].

As vantagens diretas provenientes da aplicação da Ecologia Industrial refletem um grande impacto a nível das três dimensões da sustentabilidade. Neste contexto, a avaliação da sustentabilidade é um processo que compreende as três dimensões da sustentabilidade e perpetua esta mudança de paradigma. Estes métodos complexos são utilizados na teoria e na prática para facilitar o processo de tomada de decisão e de seleção das alternativas corretas. Os projetos de construção são afetados pela tomada de decisão e pela falta de ferramentas quando deixa de ser considerada a sustentabilidade económica do projeto no processo de desenvolvimento ou tomada de decisão.

No que se refere à construção, os edifícios residenciais desempenham um papel importante na contribuição social das edificações, mas, por sua vez, têm um custo económico e ambiental. O objetivo do desenvolvimento de um projeto de engenharia passa por maximizar a sua utilidade para os residentes e para a sociedade, assim como minimizar o custo total da estrutura, não pondo em causa os seus requisitos funcionais. No entanto, o custo de capital associado aos edifícios verdes ainda é considerado bastante elevado, representando uma barreira ao desenvolvimento sustentável [62], [63]. Por esta razão, é necessário o desenvolvimento iminente de ferramentas, processos e modelos que apresentem um positivo e realista desempenho económico dos edifícios verdes.

Nos diferentes métodos de avaliação da sustentabilidade, a dimensão económica é introduzida de forma distinta e por vezes indireta. No caso da BREEAM a dimensão económica é abordada com recurso a uma única categoria "*Social and economic wellbeing*". Dentro desta, existem dois parâmetros que enquadram a economia, "*Economic impact*" e "*Training and skills*". O primeiro parâmetro traduz-se pelo aumento do bem-estar económico, assegurando que o desenvolvimento atraia o investimento interno, crie empregos, assim como complemente e melhore a atividade económica existente na área local e na economia envolvente. O segundo parâmetro pretende garantir que o desenvolvimento contribua para a área local, aprimorando habilidades e oportunidades de formação. Verifica-se que esta metodologia não compreende critérios económicos independentes.

Relativamente ao LEED, este também não compreende critérios económicos independentes, no entanto, são considerados créditos de prioridade regional (RP), que podem incluir questões económicas. Estes créditos incentivam a obtenção de créditos que abordam prioridades geograficamente específicas ambientais, de equidade social e de saúde pública [64].

No caso do LiderA é considerada a vertente socioeconómica que aborda os custos no ciclo de vida, que estabelecem uma relação adequada entre o preço e a qualidade. Aborda ainda a diversidade económica que, tal como o nome indica, abrange uma maior ou menor variedade de espaços com diferentes tipos de funções e economia [65].

O SBTool^{PT} é das metodologias que aborda a dimensão económica de forma direta. Nesta metodologia os parâmetros económicos “P24 – Valor do custo de investimento inicial por m² de área útil de pavimento” e “P25 – Valor atual dos custos de utilização inicial por m² de área útil de pavimento” pertencem à categoria 9 “C9 – Custos do ciclo de vida” [45].

A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam as informações relativas às ponderações das dimensões da sustentabilidade e dos critérios económicos nas diferentes metodologias de avaliação da sustentabilidade. Na primeira, verifica-se a importância da dimensão económica para cada MAS e constata-se que a metodologia SBTool é, de facto, a que melhor considera esta dimensão com uma ponderação de 30%, sendo que as restantes apresentam percentagens iguais ou inferiores a 6%. Na segunda, são apresentados os pesos relativos dos critérios económicos nas mesmas metodologias e constata-se que apenas o SBTool compreende os indicadores relativos ao custo de utilização e ao custo do investimento inicial utilizados na avaliação da dimensão económica. Para além desta, apenas a LiderA compreende um dos indicadores com ponderação de 2%. Conclui-se que as restantes metodologias não possuem indicadores que avaliem de forma direta os parâmetros económicos da sustentabilidade.

Tabela 2 - Pesos das dimensões da sustentabilidade das quatro metodologias (Fonte: [64]).

Dimensão	LiderA	SBTool ^{PT}	Code for Sustainable Homes	LEED for Homes
Ambiental	58%	40%	73.6%	67.3%
Económica	6%	30%	-	3.6% ^a
Social	36%	30%	26.4%	29.1%

^a Como não há critérios económicos independentes, esse valor representa a categoria Prioridade Regional, que pode incluir questões económicas.

Tabela 3 - Pesos relativos dos critérios económicos (Fonte: [64]).

Sistema	Custo do ciclo de vida	Custo do capital
LiderA	2%	-
SBTool ^{PT}	50%	50%
Code for Sustainable Homes	-	-
LEED for Homes	-	-

A avaliação do parâmetro P24 realiza-se através do Valor do Custo do Investimento Inicial por m² de área útil (P_{ci}) que corresponde ao custo de construção (custo de capital) ou valor de venda ao público, abrangendo todas as despesas associadas ao edifício até à conclusão da fase de construção. Quanto ao parâmetro P25, este é avaliado através do Valor atual dos Custos de Utilização por m² de área útil (P_{cu}), abrangendo os custos correspondentes ao consumo de energia para climatização e aquecimento das águas sanitárias, ao consumo de água potável, à produção de águas residuais e à produção de resíduos domésticos [45].

Posto isto, o objetivo da presente dissertação passa por desenvolver uma avaliação de sustentabilidade económica totalmente representativa para edifícios residenciais portugueses, com implicações para o BIM, de forma a aplicar a abordagem a um caso de estudo representativo do edificado residencial português e alargar a estrutura de dados à categoria económica do SBTTool^{PT-H}. Desta forma, será possível estender a aplicabilidade dos parâmetros económicos na prática da construção de edifícios residenciais e, por sua vez, mudar a convicção de grande parte dos investidores de que a adoção de soluções sustentáveis aumenta os riscos financeiros, os custos de capital e conseqüentemente as dificuldades em aceder ao crédito.

2.3. Building Information Modeling (BIM)

Até meados do século XX, o setor da construção civil era a atividade industrial com maior consumo de recursos humanos e materiais [66]. No entanto, é um setor com baixa produtividade quando comparado com outras indústrias, pela sua resistência à inovação e pela adoção lenta de novas tecnologias e métodos de gestão. A metodologia BIM apresenta-se como uma solução para os problemas associados ao setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) [67],[68]. Este conceito é atualmente reconhecido como um importante desenvolvimento na indústria e representa uma mudança de paradigma no processo de execução dos projetos das diferentes especialidades, conforme a Figura 7 [69].

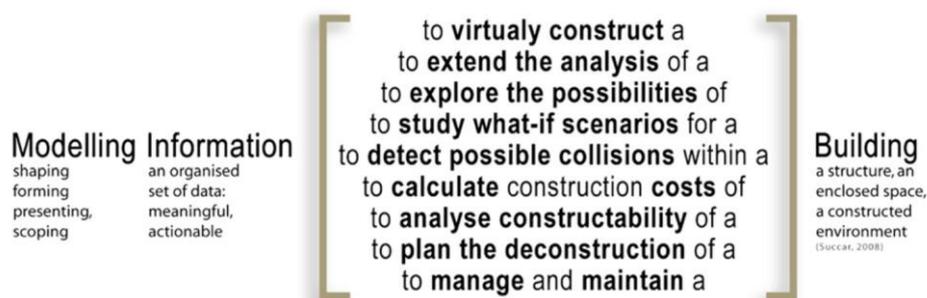


Figura 7 - Conotações comuns de termos BIM (Fonte:[70]).

2.3.1. Enquadramento histórico do BIM

Os conceitos de BIM remontam aos primeiros dias da computação, na década de 1960, seguidos dos programas de modelação que começaram a surgir nas décadas de 1970 e 1980.

Fornecedores como o *Bentley* e o *Nemetschek* recorreram às suas principais plataformas de *Computer Aided Design* (CAD) tradicionais e construíram soluções BIM com base nestas. Outros fornecedores como a *Autodesk*, desenvolveram mecanismos de modelação completamente novos. Em ambos os casos, a complexa combinação de CAD e tecnologias de AEC estabeleceu a base da modelação paramétrica 3D [71].

O desenvolvimento do *software Archicad* em 1982, na Hungria, é conhecido como o verdadeiro começo do BIM. Na década de 1990 começaram a ser desenvolvidas as tecnologias de *Information Management* (IM) um método que utiliza a tecnologia para reunir, processar e condensar informações com o objetivo de uma gestão mais eficiente. No mesmo período, CAD e as tecnologias associadas a AEC tornaram-se universalmente paramétricos, as tecnologias associadas a AEC e IM foram integradas e tornaram-se BIM. Em 2000, o desenvolvimento do programa de *software Revit* conduziu à implementação efetiva do BIM. Este proeminente desenvolvimento de *software* coincidiu com um período de crescimento económico exponencial que se prolongou até 2001.

Embora a tecnologia que sustenta o BIM exista há mais de duas décadas, a sua implementação e aceitação na indústria de construção tem sido relativamente lenta em comparação com indústrias como a manufatura e engenharia. No entanto, houve uma mudança significativa no ímpeto nos últimos cinco anos, à medida que os problemas de tecnologia e implementação se solucionaram e a indústria reconheceu as vantagens significativas que podem ser obtidas com o uso dessa tecnologia [72],[71].

2.3.2. Conceito BIM

A maioria dos investigadores concorda que a sigla BIM significa *Building Information Modeling*, [73]. Define-se BIM como um conjunto de políticas, tecnologias de modelação e processos que interagem entre si, de forma a criar uma metodologia de gestão do projeto de construção e das suas informações em formato digital ao longo do ciclo de vida do edifício, segundo a Figura 8 [74],[75],[76].

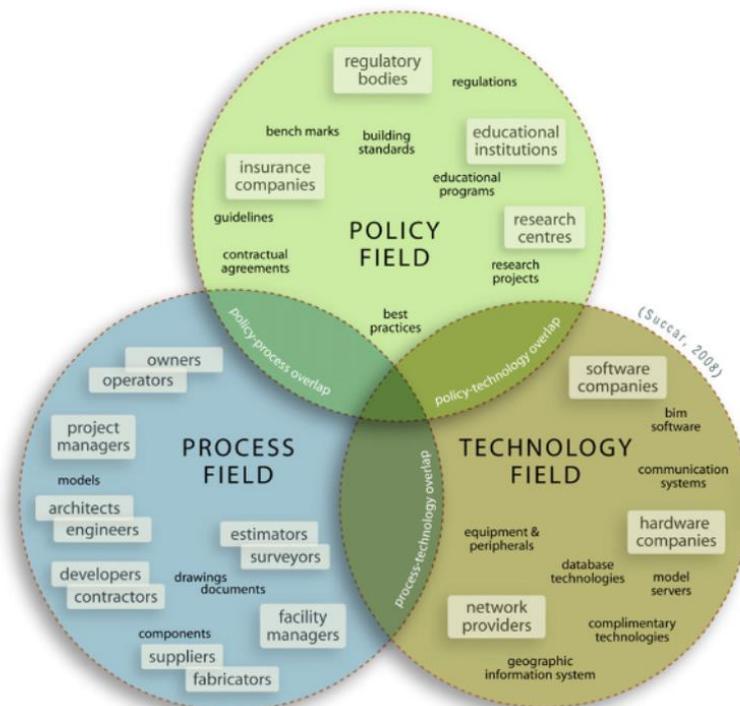


Figura 8 - Diagrama de venn representativo da interligação dos três campos de atividade do BIM (Fonte:[70]).

Por outro lado, o BIM é também um modelo geométrico tridimensional que representa digitalmente as características físicas e funcionais de uma construção. O BIM é um recurso de conhecimento partilhado por diferente *software* que permite estabelecer de forma credível uma base de dados para auxiliar as tomadas de decisão desde a conceção até à operação e manutenção, antevendo as interferências entre projetos.

No entanto, o BIM é mais do que um conjunto de *software*, é um processo. Esta metodologia valoriza a integração dos agentes e o trabalho colaborativo e simultâneo das equipas, desde o projeto e construção,

até à operação e manutenção, incentivando a partilha de dados, conhecimento, responsabilidade, risco e recompensa [69],[77],[78].

O BIM é uma mudança tecnológica e de procedimentos emergentes na indústria de AEC [75]. As discussões sobre o tema cresceram para acomodar o aumento na capacidade do *software*, infinitamente variados, que emanam de uma abundância de definições sobrepostas que tentam delinear o termo. Este define-se, genericamente, como uma tecnologia de modelação e um conjunto de processos associados, para produzir, comunicar e analisar modelos de uma construção [79], que permite a transferência rigorosa de informações, sem a necessidade de desenhos detalhados, materializando-se em modelos digitais 3D. Para além disso, possibilita o armazenamento de informações paramétricas com relações entre os diversos elementos, bem como o suporte aos fluxos de trabalho funcionais entre diferentes atividades que servem de apoio ao processo de construção [80].

2.3.3. Dimensões BIM

Na atualidade os modelos BIM são considerados multidimensionais, designando-se modelos “*nD*”. O BIM ultrapassou o conceito 3D, proporcionando um serviço que permite ao utilizador final utilizar múltiplos *nDs*, tais como, 3D – Modelação tridimensional, 4D – Planeamento e gestão de tempo, 5D – Estimativa de custos, 6D – Sustentabilidade e 7D – Gestão, utilização e manutenção de instalações, de forma assíncrona, como se observa na Figura 9 [81].

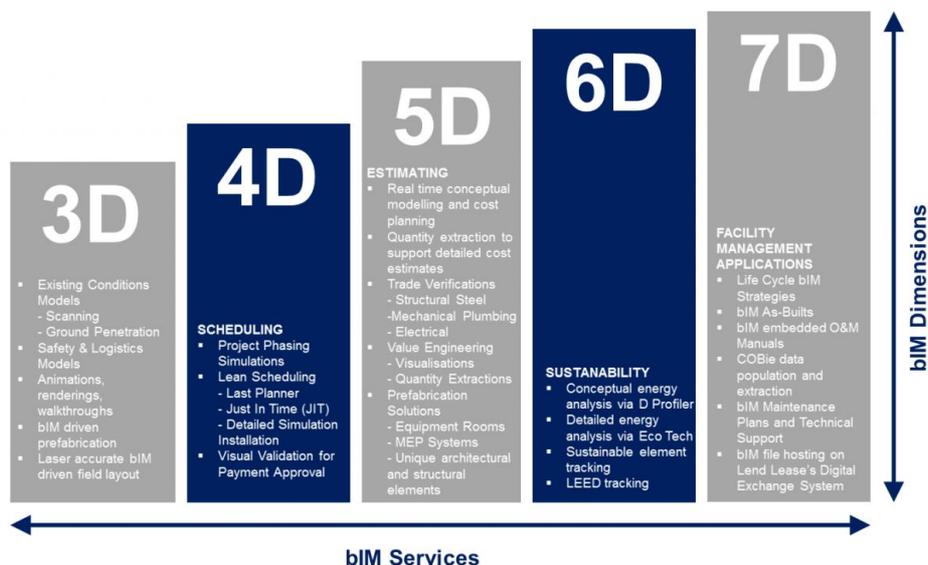


Figura 9 - As dimensões do BIM (Fonte:[82]).

Dimensão 3D

A terceira dimensão BIM consiste no modelo digital paramétrico de todo o projeto que expressa visualmente as três dimensões espaciais. Deste, é possível obter automaticamente qualquer desenho bidimensional, sendo que uma alteração introduzida no modelo influenciará todos os desenhos.

A aplicação de fluxos de trabalho digitais 3D foi um fator chave na implementação de estratégias de gestão de cadeia de abastecimento, princípios de *design Lean* e processos de construção. A utilização do 3D permitiu que a equipa tomasse decisões instantâneas e simultâneas por meio de colaboração com outras entidades e deteção de conflitos [83].

Dimensão 4D

A quarta dimensão BIM adiciona a variável tempo ao modelo 3D através de um cronograma [84]. Estes modelos 4D permitem o seguimento eficiente da construção, coordenar sequências de materiais, processos de fabricação e definir prazos de entrega para todos os componentes da construção [85]. Uma das maiores vantagens do BIM 4D é a ligação entre o *software* BIM e o *software* de planeamento. Este modelo permite desenvolver simulações que possibilitam testar soluções de forma rápida e a visualização comum por parte da equipa de trabalho [86].

Dimensão 5D

O conceito BIM 5D consiste na adição da função tempo e custo ao modelo tridimensional [87]. A adição desta componente torna possível a estimativa orçamental e otimização de custos. Esta é uma ferramenta de apoio à decisão para a gestão dos custos, uma vez que cada elemento do projeto está vinculado a um custo, pelo que qualquer alteração do modelo irá atualizar automaticamente o orçamento da obra. Esta ferramenta tem como vantagens o maior controlo financeiro da empreitada, evitando derrapagens de orçamento, apresentação de relatórios e projeção de cenários [88].

Dimensão 6D

A sexta dimensão tem em consideração o impacto ambiental da construção em todo o ciclo de vida da construção. Mediante a aplicação da metodologia Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é possível avaliar os impactos ambientais causados pelos materiais constituintes da edificação. Desta forma é também possível avaliar, mesmo na fase de elaboração do projeto, as várias possibilidades construtivas, especialmente no que diz respeito ao consumo de energia e ao cálculo estimado da poluição [89].

Dimensão 7D

Relativamente à dimensão 7D, comumente denominada BIM-FM, esta refere-se ao ciclo de vida do empreendimento e compreende a fase de utilização do edifício, a qual corresponde à fase mais longa do ciclo de vida da edificação. O modelo foca-se nas atividades operativas e de manutenção das edificações e viabiliza a inserção de dados, tais como, especificações técnicas, garantias, manuais de operação e planos de manutenção, entre outros [90].

2.3.4. Níveis de desenvolvimento

Inicialmente, o conceito *Level of Development* (LOD) surgiu como significado de nível de detalhe [91]. O nível de detalhe é definido como a quantidade de conteúdo geométrico associado a cada objeto do modelo, não considerando a qualidade da informação. Geralmente este é utilizado com o objetivo de obter o custo de um elemento de construção. Uma das terminologias que caracterizam este nível de detalhe é a *Graded Component Creation*, (Criação de Componentes Graduado) que é definida pela seguinte graduação, como se observa na Figura 10:

- G0 – Esquemático (*Schematic*);
- G1 – Concetual (*Concept*);
- G2 – Definido (*Defined*);
- G3 –Entregue (*Rendered*).

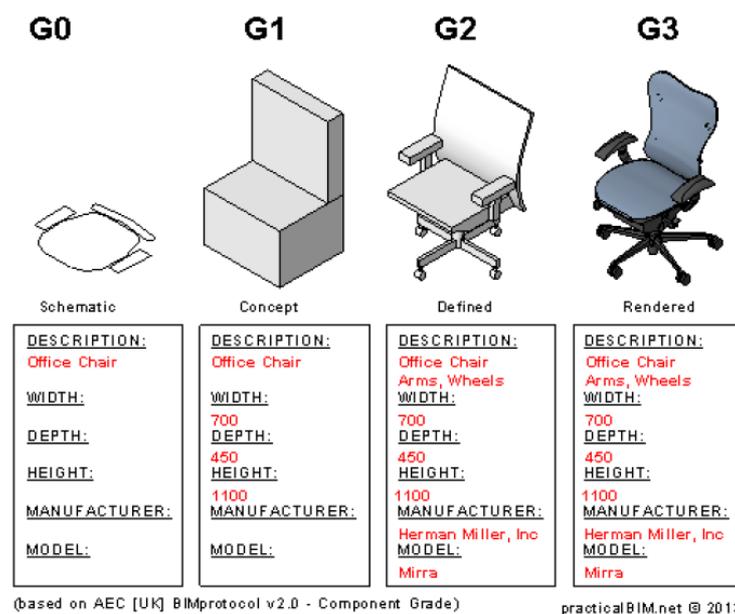


Figura 10 - Nível de detalhe (Fonte:[92]).

Atualmente, *The American Institute of Architects* (AIA) [93] atualizou a sua definição de nível de detalhe para nível de desenvolvimento ou *level of development*. O LOD não está relacionado apenas com a geometria de um elemento, mas também com a informação que contém, sendo uma referência que especifica e ilustra as características de elementos e representa o nível de detalhe com que o modelo será desenvolvido.

As definições e valores de LOD foram estabelecidos no *Level of Development Specification* [93] e são expressas numa série progressiva de números, 100, 200, 300, 350, 400, 500 que correspondem a níveis de pormenorização distintos e gradualmente crescentes nas diferentes fases de um projeto, como se observa na Figura 11.

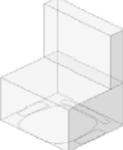
LEVEL of DEVELOPMENT				
LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 100	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 200	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 300	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 400	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra PURCHASE DATE: 01/02/2013
(Only data in red is useable)				

Figura 11 - Níveis de desenvolvimento (Fonte:[94]).

- LOD 100: Os elementos podem ser graficamente representados no modelo através de um símbolo ou uma representação genérica. A informação de cada elemento do modelo (custo por metro quadrado, peso, Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), etc) pode derivar de outros elementos do modelo.
- LOD 200: Os elementos são graficamente representados dentro do modelo como um sistema genérico, objeto ou conjunto de objetos, com quantidades aproximadas, dimensões, forma, localização e orientação. Para além disto, podem ser adicionadas informações não-geométricas aos elementos do modelo.
- LOD 300: Os elementos são graficamente representados dentro do modelo como um sistema específico, objeto ou conjunto de objetos, em termos de quantidades, dimensões, forma, localização e orientação. Para além disto, podem ser adicionadas informações não-geométricas aos elementos do modelo. A quantidade, tamanho, forma, local e orientação do elemento

conforme projetado podem ser medidos diretamente no modelo sem se referir a informações não modeladas, como notas ou chamadas de dimensão. A origem do projeto é definida e o elemento é localizado com precisão em relação à origem do projeto.

- LOD 400: Os elementos são graficamente representados dentro do modelo como um sistema específico, objeto ou conjunto de objetos, em termos de quantidades, dimensões, forma, localização e orientação, com detalhe e informações de fabricação, instalação e montagem. Para além disto, informações não-geométrica podem ser adicionadas aos elementos do modelo.
- LOD 500: Os elementos do modelo exibem o detalhe e o pormenor da realidade da construção, representando uma recriação final da obra. Os elementos do modelo contêm toda a informação adicional, além da geométrica.

2.3.5. Níveis de informação necessária

O nível de informação necessária, *Level of Information Need* (LOIN), fornece métodos para descrever as informações a serem compartilhadas de acordo com os requisitos de troca de informações entre os intervenientes. O LOIN especifica a granularidade da informação partilhada em termos de informação geométrica, informação alfanumérica e documentação, que deve ser usada para especificar a entrega de informação entre os intervenientes, conforme a Figura 12. Cada troca de informação deve considerar as necessidades de cada destinatário e a finalidade de fornecer essas informações [95], [96].

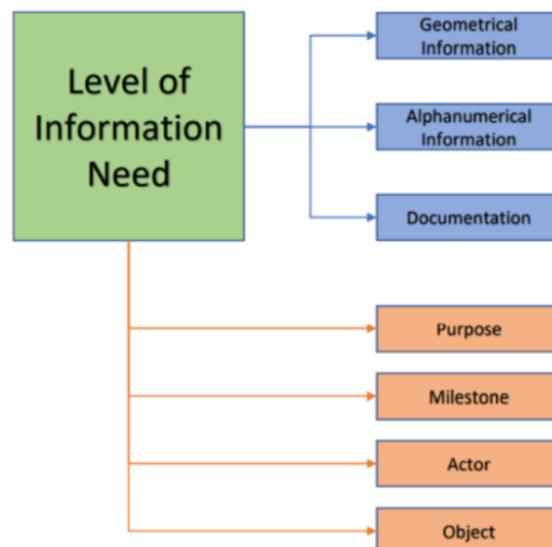


Figura 12 - Nível de informação necessária (Fonte:[96]).

O LOIN reflete a necessidade de criar paralelismos entre os LOD e a informação a que correspondem determinados objetos nos *softwares* de metodologia BIM. Este tópico vai de encontro à necessidade de definir que informação é indispensável ao longo do processo construtivo [97]. Este pode ser visto como

substituto da combinação do LOD e LOI. A Figura 13 ilustra a relação entre Níveis de Desenvolvimento, de Detalhe e de Informação.



Figura 13 - Relação entre Níveis de Desenvolvimento, Detalhe e Informação (Fonte: Elaborada pela autora).

2.3.6. Troca de dados e interoperabilidade

A possibilidade de dois ou mais sistemas ou componentes trocarem e partilharem informação define interoperabilidade [98]. De forma a possibilitar a troca de informação são necessárias plataformas técnicas capazes de tratar esse tipo de informação, no sentido de atingir a comunicação e colaboração entre os diferentes participantes da equipa de projeto [99]. Atualmente, um dos principais modelos *standard* de trocas de informação entre aplicações BIM é o IFC (*Industry Foundation Classes*), sendo este usado no planeamento, projeto, construção e operação. Na Figura 14 observa-se o modo de funcionamento do IFC, no qual o modelo é dividido na sua geometria e dados. Esses ficheiros são depois convertidos em IFC, que podem ser utilizados por outro *software* com capacidade de ler IFC e juntar novamente a informação, construindo o modelo original.

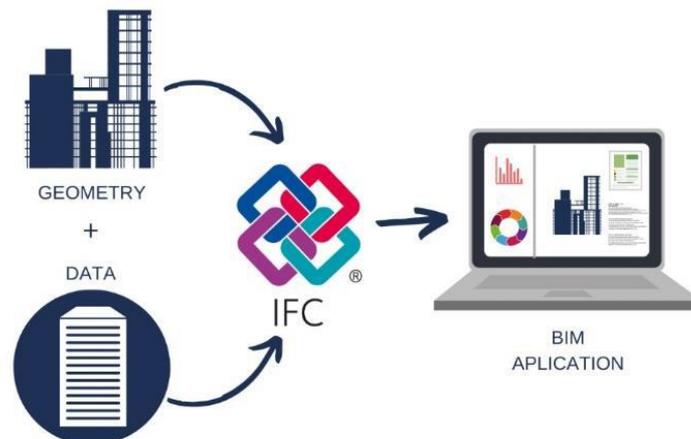


Figura 14 - Modo de funcionamento de um IFC (Fonte:[100]).

No entanto, o IFC armazena e transporta todos os dados relevantes para os vários processos de construção. No entanto, devido à fragmentação da indústria e à adoção heterogénea de diferente *software* de Tecnologia da Informação (TI), a conquista desta interoperabilidade ainda não está globalizada [98], [99].

Os tipos de formatos de partilha de informação resumem-se aos formatos proprietários – formato do fornecedor do *software* (exemplo: RVT: formato proprietário da Autodesk para arquivos *Revit*) – aos formatos públicos – nos quais se integra o IFC – e aos formatos baseados em *Extensible Markup Language* (XML) – como é exemplo o Green Building XML (gbXML), mais adequado para análises térmicas de edifícios.

2.3.7. Implementação e maturidade BIM

Implementar a metodologia BIM envolve novos processos no setor da construção e uma reformulação dos métodos de trabalho, de forma a obter uma maior coordenação, interoperabilidade e troca de informação entre os intervenientes. Essa integração muda completamente a dinâmica do processo tradicional de desenvolvimento de atividades construtivas, dado que o processo colaborativo se dá num único modelo. A definição de nível de maturidade surgiu da necessidade de ter um instrumento que permitisse a medição do grau de conhecimento e desempenho BIM que existe numa organização. A alteração dos métodos tradicionais para métodos BIM é apresentada numa estrutura que caracteriza a maturidade BIM em três etapas [75], [101], conforme a Figura 15:

1. Modelação baseada em objetos;
2. Colaboração baseada no modelo;
3. Integração baseada no trabalho em rede.



Figura 15 - Estrutura de caracterização da maturidade BIM (Fonte: [75]).

O processo antes da implementação BIM é denominado “PRE-BIM” e é caracterizado pela falta de colaboração e pela dependência da representação 2D. As estimativas de custos, especificações e quantidades normalmente não são derivadas do modelo. O setor sofre com o baixo investimento em tecnologia e falta de interoperabilidade, sendo o fluxo de trabalho linear e não-coincidente. Atualmente, a nível global, a maioria das indústrias já ultrapassaram esta primeira etapa e encontram-se na etapa seguinte. Esta caracteriza-se pela produção de modelos individuais BIM em *software* próprio de modelação, apesar do 2D continuar a ser utilizado para os desenhos obrigatórios, assim como no “PRE-BIM”. O processo prossegue para a etapa 2 que é caracterizada pela existência do processo colaborativo entre diferentes especialidades, na qual a troca de informações pode ser efetuada diretamente entre formatos proprietários ou por meio do IFC. As equipas utilizam modelos 3D, no entanto não trabalham,

necessariamente, num único modelo partilhado, pois basta apenas um modelo com informações geométricas para que haja um intercâmbio semântico entre as disciplinas. A colaboração está representada pela partilha de informação entre as diferentes entidades. Finalmente, a última etapa tem como principal objetivo unificar a indústria, uma vez que permite que todos os projetos sejam realizados num único modelo integrado altamente detalhado, mantido durante as fases de projeto, construção e operação. Assim, todas as entidades trabalham simultaneamente no mesmo projeto que se encontra associado a uma “húvem”, o que possibilita eliminar qualquer conflito de informação, visto que o projeto corresponde a um só modelo partilhado por todos. Este processo denomina-se por “Open BIM” [75], [101].

O nível de maturidade BIM de uma organização pode ser estimado consoante um mapa de maturidade BIM, como se pode observar na Figura 16.

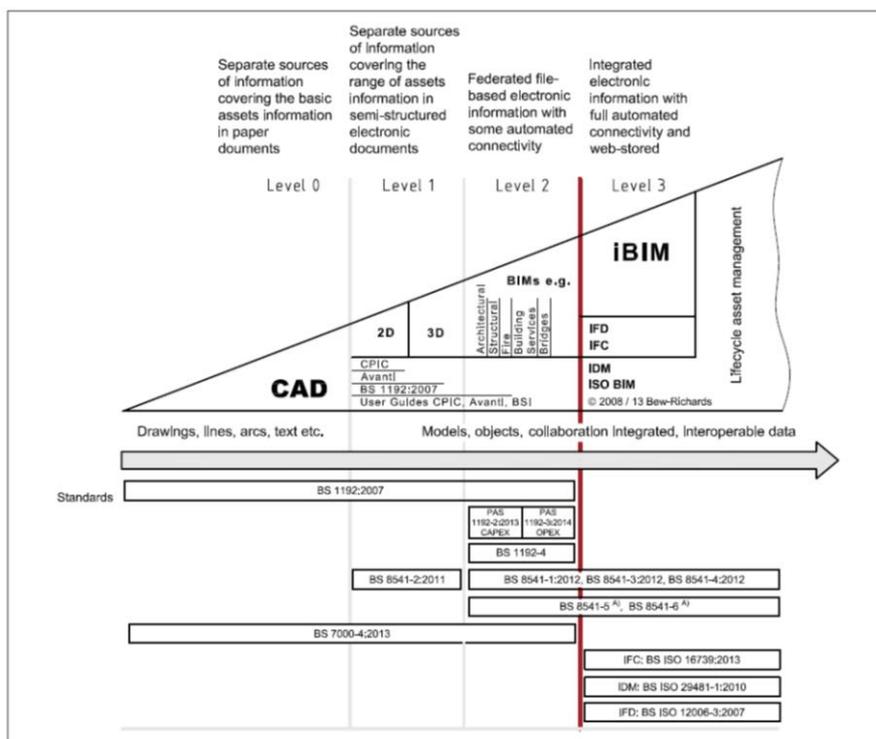


Figura 16 - Níveis de Maturidade associados ao BIM (Fonte: [102]).

Em Portugal, como exemplo da implementação BIM, existe a Engexpor e a NRV-Norvia. O plano de ação para a implementação BIM na Engexpor foi desenvolvido de modo a evoluir de forma orgânica, gradual e com recurso a um processo de gestão da mudança reconhecido internacionalmente, ao qual foi também associado um plano de gestão do risco. Nesta implementação BIM, o papel do gestor de projeto representa uma peça fundamental ao nível da organização e dos projetos. O processo considerado para a implementação BIM na Engexpor está representado na Figura 17 [103].

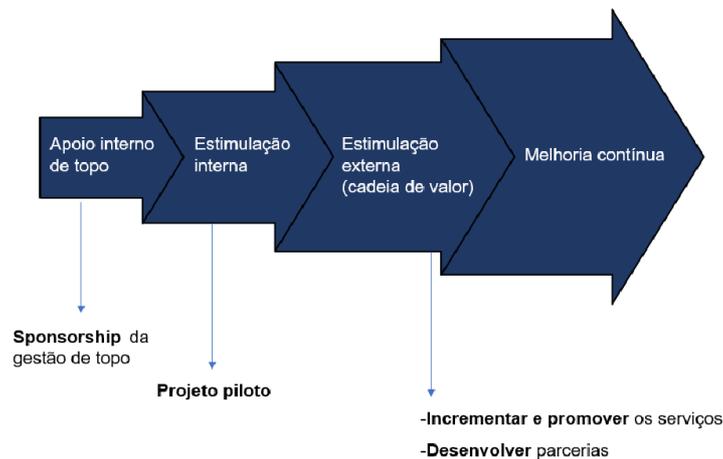


Figura 17 - Processo de gestão da mudança para a implementação BIM (Fonte: [103]).

Numa empresa com diversas áreas de atuação como a NRV, o processo de implementação de tecnologias BIM obrigou a uma profunda reformulação na forma como abordam os projetos, desde a alteração dos campos de ação dos intervenientes, passando pela aquisição de meios, conceção e documentação de processos internos, formação e qualificação dos recursos e até o desenvolvimento de *software* específico [103].

O principal objetivo do processo de implementação BIM foi o aumento na eficiência dos processos internos de forma a ter o retorno do investimento da implementação do método BIM e suavizar esta fase transitória que a indústria da construção atravessa.

2.3.8. *Software* BIM e as suas aplicações

A definição das infraestruturas e tecnologias de suporte é uma etapa fundamental para o sucesso ou fracasso de uma implementação BIM. A escolha do *software* deve ser adequada aos recursos e às necessidades dos processos BIM. O *software* BIM pode ser classificado hierarquicamente como ferramentas, plataformas ou ambientes [83], como se observa na Figura 18.

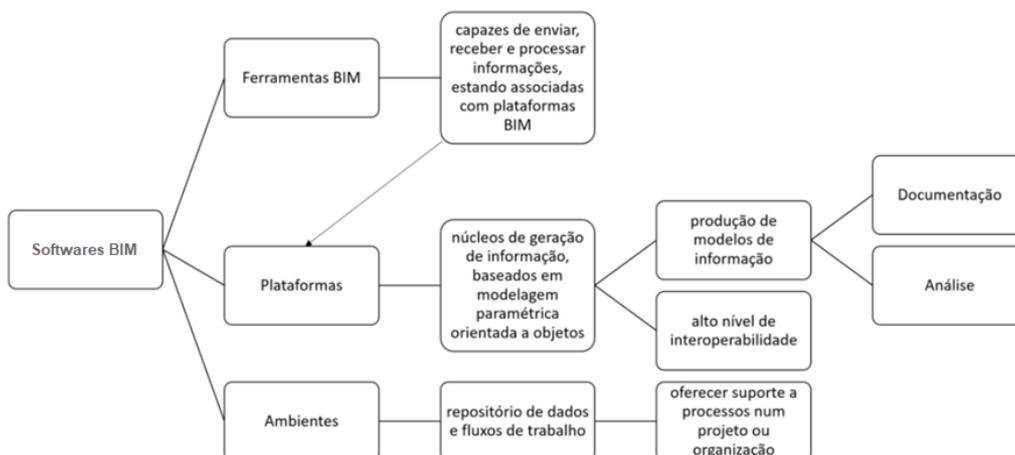


Figura 18 - Classificação hierárquica dos softwares BIM (Fonte: Adaptado de [83]).

As ferramentas BIM são responsáveis por enviar, receber e processar informações dentro de processos associados à plataforma BIM. Porém, é importante salientar que as ferramentas que possuem essas funcionalidades, por si só, apenas podem ser consideradas como ferramentas BIM quando associadas a alguma plataforma BIM. Exemplos de ferramentas BIM são aquelas que permitem a criação de modelos, desenhos, especificações, estimativa de custos, detecção de conflitos e erros, análise de energia, renderização, programação e visualização. Os resultados das ferramentas são geralmente independentes, como relatórios e desenhos. No entanto, em alguns casos estes resultados são exportados para outro *software*, como ferramentas de levantamentos de quantidades para estimativa de custos. Como exemplo de ferramentas BIM existem: *AutoCAD, FormIt, Structural Bridge Design, Recap, 3DS Max* e *Fabrication*, da *Autodesk*; *Maxon* e *Nevaris*, da *Nemetschek*; *SketchUp Pro, Layout, Tekla Tedds, DuctDesinger 3D, PipeDesinger 3D, Autobid* e *Accubid*, da *Trimble*; *Descartes, Pointools, Lumen RT, OpenCities Map, Siteops*, da *Bentley*; e *Rhinoceros 3D*, da *McNeel*. Por sua vez, as plataformas BIM são definidas como o núcleo de criação de informação onde se mantém o modelo base, fundamentadas na modelação paramétrica orientada a objetos. Estas são responsáveis por fornecer modelos de dados primários que agregam informações de vários *software* BIM, o que requer um elevado nível de interoperabilidade. As plataformas BIM incluem várias funcionalidades, como a produção de modelos de informação e documentação associada e análises de detecção de conflitos. Para além disso, podem reunir conjuntos de *interfaces* e recursos específicos para diferentes domínios, como projetos de sistemas estruturais, *Mechanical, Eletrical, Pumbing and Piping* (MEP), AVAC, entre outros. Entre as diversas plataformas BIM estão, por exemplo: *Revit, Navisworks, Civil 3D, Infracore, Insight, Robot Structural Analysis, Dynamo Studio, BIM 360 (Plan, Glue, Field), Advance Steel* e *Vehicle Tracking*, da *Autodesk*; *Archicad, Vectorworks, Allplan, Data Design System, Solibri, SCIA Engineer, iX-Haus, Frilo, Risa, Precast Software Engineering, SDS/2, Spacewell* e *dRofus*, da *Nemetschek*; *Tekla Structural Designer, Tekla Structures* e *Vico Office*, da *Trimble*; *Microstation, OpenBuildings Design, OpenCities Planner, STAAD, AssetWise* e *iTwin*, da *Bentley*; *TQS, SOFiSTiK, Archibus* e *IBM Tririga*. Por fim, os ambientes BIM estão relacionados com a gestão e integração das informações durante todo o ciclo de vida da edificação. Estes consistem em conjuntos de *software* BIM que abrangem as várias ferramentas, plataformas, servidores, bibliotecas e fluxos de trabalho BIM e são utilizados para oferecer suporte a múltiplas informações e processos num projeto ou organização. Os ambientes BIM oferecem a oportunidade de transportar formas de informação muito mais amplas do que apenas dados de modelo, como vídeo, imagens, registos de áudio, e-mails e muitas outras formas de informação utilizadas na gestão de um projeto.

Alguns exemplos de ambientes BIM são: A360, BIM 360 (*Docs e Design*) e *Vault*, da *Autodesk*; *Bluebeam* e *dRofus*, da *Nemetschek*; *ProjectWise*, da *Bentley*, e *Trimble Connect* [104].

De acordo com as suas finalidades, o *software* BIM pode ser categorizado quanto à sua utilização BIM [105], Tabela 4.

Tabela 4 - Usos BIM e plataformas (Fonte:[106])

Usos BIM	Plataformas BIM
1 Modelagem de Condições Existentes	Revit, Civil 3D, InRoads, Archicad, Vectorworks, Allplan, Microstation, OpenBuildings Design, OpenCities Planner
2 Estimativa de Custos	Revit, Dynamo Studio, BIM 360 (Plan, Glue), Archicad, Vectorworks, Data Design System, Solibri, SDS/2, Precast Software Engineering, Tekla Structures, Vico Office, Microstation, OpenBuildings Design, Synchro
3 Planejamento de Etapas	Navisworks, BIM 360 (Plan, Glue), Tekla Structures, Vico Office, Synchro
4 Programação	Revit, Civil 3D, InRoads, Archicad, Vectorworks, Allplan, Microstation, OpenBuildings Design, OpenCities Planner
5 Análises Locais	Revit, InRoads, Archicad, Microstation, OpenBuildings Design, OpenCities Planner
6 Revisão de Projetos	Navisworks, BIM 360 (Plan, Glue, Field), Solibri, dRofus, Vico Office, Synchro
7 Design Autoral	Revit, Civil 3D, InRoads, Robot, Dynamo Studio, Advance Steel, Vehicle Tracking, Archicad, Vectorworks, Allplan, Data Design System, SCIA Engineer, Frilo, Risa, Precast Software Engineering, SDS/2, Tekla Structural Designer, Tekla Structures, Microstation, OpenBuildings Design, STAAD, TQS, SOFISTIK
8 Análise Estrutural	Robot, Dynamo Studio, Allplan, SCIA Engineer, Frilo, Risa, SDS/2, Precast Software Engineering, Tekla Structural Designer, STAAD, TQS, SOFISTIK
9 Análise Luminotécnica	Insight, Vectorworks (Spotlight)
10 Análise Energética	Insight
11 Análise Mecânica	Robot, SCIA Engineer, Frilo, Risa, Tekla Structural Designer, STAAD, TQS, SOFISTIK
12 Análise de Outras Engenharias	Vehicle Tracking
13 Avaliação LEED Sustentabilidade	Insight
14 Validação de Códigos	Navisworks, Civil3D, Robot, Dynamo Studio, BIM 360 (Glue), Solibri, SCIA Engineer, Frilo, Risa, Vico Office, Synchro, dRofus, STAAD, TQS, SOFISTIK
15 Coordenação Espacial 3D	Revit, Navisworks, Civil 3D, BIM (Plan, Glue, Field), Advance Steel, Archicad, Allplan, Data Design System, Solibri, dRofus, Tekla Structures, Vico Office, Microstation, OpenBuildings Design, Synchro
16 Planejamento de Utilização	BIM 360 (Plan, Field), Precast Software Engineering, SDS/2
17 Projeto do Sistema de Construção	Revit, Advance Steel, Dynamo Studio, Archicad, Allplan, Precast Software Engineering, SDS/2, Tekla Structures, Microstation, OpenBuildings, STAAD, TQS, SOFISTIK
18 Fabricação Digital	Advance Steel, Allplan, Precast Software Engineering, SDS/2
19 Planejamento de Controle 3D	BIM 360 (Field), Precast Software Engineering, SDS/2
20 Modelagem de Registros	Revit, Civil 3D, Archicad, Vectorworks, Allplan, Microstation, OpenBuildings Design
21 Planejamento de Manutenção	iX-Haus, Spacewell, AssetWise, iTwin, Archibus, IBM Maximo/Tririga
22 Análise do Sistema de Construção	Spacewell, AssetWise, iTwin, Archibus, IBM Maximo/Tririga
23 Gestão de Ativos	iX-Haus, Spacewell, AssetWise, iTwin, Archibus, IBM Maximo/Tririga
24 Gerenciamento de Espaços/Rastreamento	Spacewell, AssetWise, iTwin, Archibus, IBM Maximo/Tririga
25 Planejamento contra Desastres	Spacewell, iTwin, Archibus, IBM Maximo/Tririga

Através da análise da Figura 19, verifica-se que a maioria das plataformas BIM desenvolvidas apresentam a finalidade de *design*, edição, visualização e verificação de um modelo 3D, destacando-se: *design*, modelação e implementação de fluxos de trabalho transversais, coordenação espacial e análise estrutural. Por outro lado, denota-se pouco suporte ao projeto de edificações sustentáveis, na medida em que avaliações sustentabilidade, análises energéticas e luminotécnicas, que devem ocorrer na fase de projeto, se destaquem com menor frequência [106].

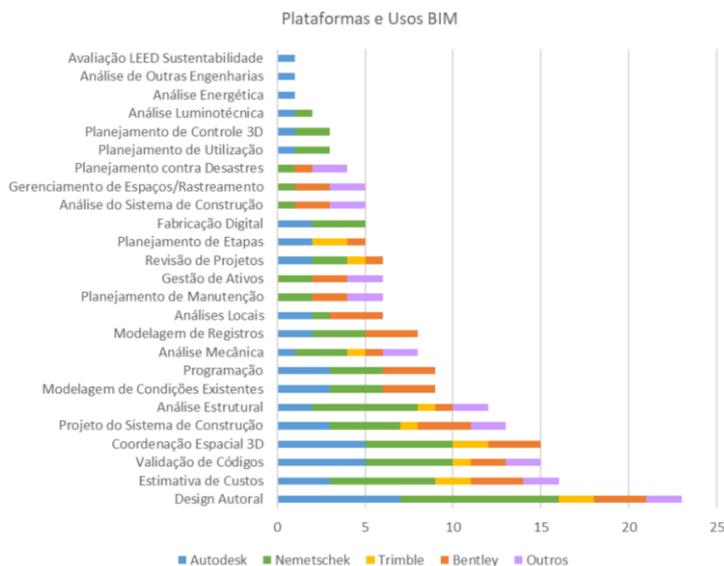


Figura 19 - Análise quantitativa dos usos BIM de cada fornecedor de softwares BIM (Fonte: [106]).

No decorrer da dissertação será utilizado o *software Revit* para a modelação do caso de estudo, uma vez que este permite maior eficiência e precisão em todo o ciclo de vida do projeto. Este *software* BIM transfere as diversas áreas da AEC para um único espaço de modelação, possibilitando o desenvolvimento de projetos mais eficientes e rentáveis. Para além do *Revit* será utilizado o *Dynamo*, uma ferramenta desenvolvida para estender as funcionalidades do *Revit*. Essencialmente, o *Dynamo* é uma ferramenta de “programação visual” que permite ao utilizador construir as suas próprias aplicações.

2.3.9. Vantagens e limitações

Em função da natureza do processo BIM e do tipo de utilização do interveniente, os seus benefícios são organizados em três categorias, nomeadamente: a visualização, a colaboração e a eliminação. Relativamente à visualização, o principal benefício é a melhoria da interpretação pessoal do projeto, a colaboração refere-se à ação cooperativa entre todos os elementos da equipa técnica e a eliminação representa a redução de conflitos, desperdícios e riscos. Ao referir benefícios do BIM considera-se apenas os benefícios diretos, no entanto a maior parte dos benefícios do BIM são indiretos. Os benefícios diretos incluem a visualização antecipada do projeto finalizado e a centralização de informação, sendo que o modelo engloba diversos aspetos e disciplinas de um projeto. Relativamente aos benefícios indiretos, estes englobam a redução das incompatibilidades, a redução do risco associado ao projeto por recurso a simulações da construção e a maior compreensão do projeto pela partilha permanente de informação e conhecimento [107].

A implementação do BIM promove o alcance de objetivos da construção sustentável, visto que possibilita a adoção de princípios da construção *Lean*. O foco principal do *Lean* é a redução ou eliminação do

desperdício, desta forma o BIM identifica e ajuda a resolver vários tipos de desperdício que ocorrem primeiramente na fase de projeto e se manifestam na fase de construção [108]. A relação entre o pensamento *Lean* e BIM deve-se à tipologia e número de semelhanças existentes entre os princípios *Lean* e as funcionalidades BIM, sendo que ambas as iniciativas têm um forte impacto na construção [109]. As tabelas seguintes, Tabela 5 e Tabela 6, apresentam os princípios *Lean* e as funcionalidades BIM.

Tabela 5 - Princípios Lean (Fonte: [110]).

Princípios LEAN
Redução da variabilidade
Redução dos tempos de execução
Aprofundar o nível de detalhe dos pacotes de trabalho (wbs)
Aumentar a flexibilidade
Seleção de sistemas de planeamento e controlo de produção apropriados
Padronizar os trabalhos
Preocupação de melhoria contínua
Uso de métodos de controlo visual
Usar o sistema de produção puxada e eliminar interrupções entre atividades de natureza diferente no mesmo local
Garantia do desbloqueamento de todos os constrangimentos à realização de tarefas
Assegurar congruência do projeto a realizar
Assegurar que o nível de detalhe do projeto é adequado
Validade dos planos e confiabilidade entre intervenientes
Observar as ocorrências no local onde elas ocorrem
Decidir por consenso, considerar todas as opções
Cultura de forte relação entre intervenientes

Tabela 6 - Funcionalidades BIM (Fontes: [110]).

Funcionalidades BIM
Visualização adequada e detalhada do projeto
Rápida geração de desenho de múltiplas alternativas
Uso de modelação paramétrica para análise e previsão de desempenhos de construção (custos e prazos)
Manutenção da integridade da informação do projeto
Geração automática de peças desenhadas e peças escritas do projeto
Processo colaborativo entre a realização do projeto e a construção da obra
Rápida avaliação de soluções alternativas ao projeto
Comunicação baseada em plataforma eletrónica

As funcionalidades e potencialidades da metodologia BIM tornam-se relevantes para os projetos e destacam os seguintes benefícios [85],[111]:

- Uma representação geométrica detalhada do edifício;
- Um processo mais rápido e eficiente, onde a informação é transmitida mais facilmente;
- Melhor *design*, as várias soluções podem ser rigorosamente analisadas e simuladas rapidamente, de forma a chegar às soluções mais adequadas;
- Melhor qualidade de produção: os *outputs* da documentação são flexíveis e automáticos;
- Melhor serviço para com os clientes: uma melhor visualização permite um melhor entendimento do projeto por parte do cliente;
- Controlo dos custos de todo o ciclo de vida e informações ambientais;
- Informações do ciclo de vida: a informação relativa aos requisitos, ao *design*, à construção e à operação podem ser usados em *Facility Management* (FM).

A tardia implementação e adoção das tecnologias BIM, que consequentemente impedem o aproveitamento dos benefícios que esta apresenta, depende da transigência dos futuros utilizadores. As limitações intrínsecas à adoção do BIM podem ser categorizadas em limitações técnicas e contratuais. Em relação às limitações de natureza técnica, estas são referentes à utilização de ferramentas BIM e têm sido gradualmente abordadas pelos criadores de *software*, pelos investigadores e pelas organizações. As limitações contratuais implicam a mudança de procedimentos e fluxos de comunicação, responsabilização e confiança. Estas apresentam os maiores desafios à implementação do BIM, uma vez que estes aspetos são de difícil alteração. Entre outras limitações, destacam-se as seguintes [80]:

- Custos de investimento e aprendizagem inicial, através da aquisição de novo *software*, bem como com a sua amortização;
- Curva de aprendizagem lenta;
- Limitações de interoperabilidade;
- Falta de padronização do sistema de modelação, de métodos e processos, assim como a utilização de diferentes programas;
- Baixa qualificação do utilizador;
- Ausência de controlo da informação;
- Custos na implementação e formação de profissionais;
- Recurso a métodos de tentativa e erro;
- Fraca adesão da comunidade técnica do sector da construção às ferramentas BIM;

Esta nova tecnologia apresenta grandes vantagens na fase de projeto, assim como algumas limitações. Ainda assim é necessária a interoperabilidade, uma vez que esta consiste no fluxo de informação cujo objetivo principal é melhorar a dinâmica de trabalho e contribuir para a automatização dos processos, de forma a permitir que esta metodologia se desenvolva [83].

2.3.10. O BIM em Portugal

Portugal tem vindo a desenvolver diversas iniciativas de divulgação e de implementação do BIM, entre as quais se inclui a Comissão Técnica de Normalização CT197-BIM, que representa o CEN/TC 442 e o EU BIM *Task Group*, em Portugal. Estes propõem a criação de normas, especificações e relatórios que definem, implementam e monitorizam o BIM. O CEN/TC 442 tem como principais objetivos harmonizar as iniciativas europeias relativamente à normalização do BIM, contribuir para a inovação tecnológica da

construção, potenciar uma construção mais sustentável, assim como um trabalho colaborativo devidamente estruturado e definir a implementação do BIM a nível europeu [112].

Para além disto, Portugal elaborou outras iniciativas de divulgação e implementação do BIM:

- **Plano para integração do BIM em diversas disciplinas do curso de Engenharia Civil da Universidade da Madeira.**

Portugal tem criado um plano para integração do BIM em diversas disciplinas de Engenharia Civil, sendo a mudança no ensino um incentivo à utilização do BIM nos cursos de Engenharia Civil. Nas universidades o ensino do BIM tem sido aplicado essencialmente segundo duas estratégias, como se observa na Figura 20. A primeira estratégia corresponde à introdução de uma ou duas Unidades Curriculares (UCs) específicas, geralmente no primeiro ou segundo ano, ou nos últimos anos de curso. A segunda estratégia passa pela utilização de modelos BIM em várias UCs ao longo do curso, normalmente como recurso e ferramenta de ensino [113].



Figura 20 - Estratégias de adoção BIM no ensino (Fonte: adaptado de [113]).

As principais motivações do ensino do BIM nos cursos da indústria AEC, nomeadamente na Engenharia Civil, são a promoção e a melhoria da aprendizagem por parte dos alunos, através da utilização de técnicas e métodos efetivos de comunicação e visualização digitais, assim como responder às necessidades do mercado de trabalho atual relativamente aos processos e à metodologia BIM [103].

Este plano de integração do BIM em diversas disciplinas do curso de Engenharia Civil não é novidade para a Universidade do Minho, tendo esta sido a primeira universidade portuguesa a implementar uma UC inteiramente dedicada ao BIM nos cursos de Engenharia Civil. Para além disto, a Universidade do Minho também oferece um programa de mestrado de educação avançada em BIM, bem como, cursos de especialização nesta área.

- ***International Master BIM Manager* em língua portuguesa – Experiência colaborativa em ensino à distância.**

Uma outra medida criada foi um Mestrado Internacional de BIM Manager em língua portuguesa. Neste cenário, os autores criaram uma oferta formativa em língua portuguesa para profissionais da indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). De forma a estimular a comunicação e o trabalho em equipa entre grupos de trabalho, são propostos desafios ao longo do curso que espelham situações reais. A metodologia de ensino é baseada no ensino online, advogando a filosofia do *open-BIM*, adotando múltiplas plataformas e diversas ferramentas. O ambiente digital e a necessidade de colaborar à distância estimulam a interação entre alunos e professores, garantindo um alcance alargado a profissionais de vários países e continentes [103].

- **Desenvolvimento da mentalidade BIM: Estudo de caso de aplicação pedagógica em escritório de projetos.**

Outra iniciativa de divulgação do BIM em Portugal compreendeu o desenvolvimento da mentalidade BIM. O objetivo deste trabalho foi contribuir com a discussão sobre a aceitação do processo BIM pelas partes de um projeto e de como o conhecimento dessa ferramenta deve ir para além do *software*. É necessário embutir nos profissionais a mentalidade BIM, nomeadamente a necessidade de cooperação e comunicação. Destaca-se ainda a importância da compatibilização de informações e produtos na qualidade de projeto e na necessidade de retrabalho [103].

- **O Mestrado Europeu BIM A+.**

Outra iniciativa desenvolvida foi a criação e implementação do projeto de ensino do Mestrado Europeu em *Building Information Modelling* BIM A+, liderado pela Universidade do Minho em consórcio com a Universidade de Ljubljana (Eslovénia) e o *Politecnico di Milano* (Itália). Desta forma, foi possível evidenciar a complexidade de implementação de um projeto deste tipo, bem como ilustrar a complementaridade dos membros do consórcio na constituição de um programa curricular considerado inovador e único a nível mundial [103].

- **Implementação BIM ao nível do licenciamento municipal: Verificação automatizada do Regulamento geral das edificações urbanas (RGEU).**

Outra iniciativa de divulgação do BIM em Portugal consiste na proposta de medida de implementação BIM ao nível do licenciamento municipal. Neste momento, no caso particular do RGEU, estão a ser apresentadas propostas para a implementação do uso da verificação automatizada de regras para

licenciamento. Este projeto permitiu analisar a aplicabilidade de regras do RGEU num *software* de verificação de modelos, assim como implementar a respetiva análise num projeto piloto, com ênfase na necessidade da definição de práticas de modelação adequadas para realização da verificação [103].

Para além destas iniciativas, Portugal, a par do sucedido em diversos países do mundo, também começou a desenvolver alguns projetos em BIM, uma vez que estes possibilitam a melhoria dos métodos de trabalho, rapidez de planeamento, otimização dos custos, entre outros. Seguem-se alguns exemplos do que tem sido feito a nível nacional:

- **Sede da Vodafone no Porto, Figura 21**

Devido à geometria complexa do edifício, a equipa de trabalho teve a necessidade de recorrer a ferramentas BIM para facilitar o entendimento e interpretação das diversas orientações das faces planas da fachada [114].



Figura 21 - Sede da Vodafone no Porto (Fonte: [115]).

- **Terminal de Cruzeiros em Leixões, Figura 22**

Com o apoio dos programas *Revit Architecture* e *Revit Structure* a empresa responsável criou um modelo BIM da construção. A necessidade de um modelo mais avançado deu-se devido à exigência de representar de forma precisa um cais com o comprimento de 340 metros e um edifício com uma geometria complexa. Embora sendo uma obra piloto em BIM, esta recorreu ao BIM 4D e BIM 5D, que permitiu a extração de quantidades mais fidedignas, assim como uma estimativa dos custos mais realista [116].



Figura 22 - Terminal de Cruzeiros, Leixões (Fonte: [116]).

2.4. BIM & Sustentabilidade

Diversos processos e tecnologias têm sido desenvolvidos com vista à redução das necessidades energéticas, dos custos dos projetos, dos tempos de execução, das emissões de CO₂ e dos resíduos produzidos, de forma a responder ao aumento da procura por edifícios mais sustentáveis [117], [118]. Destes, salienta-se a metodologia BIM que permite uma melhor comunicação e colaboração entre as equipas de projeto, possibilita a verificação de incompatibilidades, permite a redução de tempos e a minimização de custos. O conjunto de políticas, processos e tecnologias que definem o BIM criam uma metodologia de trabalho capaz de gerir um projeto num formato digital durante todo o ciclo de vida de uma construção [80]. Para além disso, o BIM possibilita ainda aos projetistas selecionar as melhores soluções a implementar num determinado projeto, através da realização de análises de desempenho energético, da identificação de padrões solares, da estimativa de produção de energia renovável, da previsão dos consumos de água, da gestão eficiente de resíduos, entre outras medidas sustentáveis [117].

Relativamente à tomada de decisão e à melhoria da sustentabilidade num edifício, as fases iniciais de pré-execução do projeto e projeto são as mais importantes e, para tal, a avaliação da sustentabilidade deve ser realizada o mais cedo possível [119]. Desta forma, a avaliação da sustentabilidade pode contribuir significativamente para o suporte da tomada de decisão, numa fase onde as alterações ao projeto requerem poucos recursos. No entanto, as análises de sustentabilidade são tipicamente realizadas depois dos projetos de arquitetura e especialidades serem executados, resultando numa ineficácia no processo, pois muitas soluções sustentáveis já não são passivas de ser introduzidas [120].

Assim, torna-se clara a influência que o BIM pode ter na sustentabilidade de um projeto, uma vez que as suas principais potencialidades são preeminentes durante as fases iniciais do projeto. A utilização do BIM ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício tem um enorme impacto na eficiência e no desempenho de um projeto de construção, pois cria a oportunidade para introduzir medidas sustentáveis e realizar análises de desempenho energético ao longo do projeto, desde a fase de projeto, até à operação, reparação, manutenção e demolição [3],[5],[118].

Apesar de todos os benefícios, a dificuldade de compatibilização de plataformas e ferramentas BIM capazes de avaliar a sustentabilidade do edificado impede a integração do BIM nas metodologias de

avaliação de sustentabilidade. Contudo, de forma a desenvolver a ligação entre os sistemas de avaliação da sustentabilidade e o BIM, têm sido desenvolvidos alguns programas informáticos que abrangem mais parâmetros e aspetos relacionados com princípios de sustentabilidade. Assim, com recurso a estes programas informáticos BIM, os parâmetros podem ser analisados e avaliados diretamente ou indiretamente. Além disso, têm ainda a capacidade de simplificar a certificação de sustentabilidade, ao mesmo tempo que economizam custos, tempo e outros recursos [121],[122]. O BIM permite que o projeto evolua de forma a otimizar esses mesmos parâmetros do sistema de certificação, contribuindo para o fornecimento de informação necessária, o que resulta numa melhor classificação sustentável do edifício [11],[123].

Segundo as capacidades mencionadas e propostas de aplicação, pode-se afirmar que o BIM é uma ferramenta importante para alcançar construções mais sustentáveis, atuando efetivamente nas três principais dimensões das construções sustentáveis: ambiental, social e económica. A recente implementação, procura e capacidades do BIM na indústria da AEC, possibilita às metodologias de avaliação da sustentabilidade utilizar e beneficiar das suas capacidades, no sentido de tornar os processos de avaliação mais eficientes. No entanto, um método que permita a sequência de informação entre o BIM e a avaliação da sustentabilidade dos edifícios ainda não se encontra claramente definido [122].

2.4.1. Principais aplicações do BIM na sustentabilidade

O modelo virtual BIM é um arquivo de toda a informação inerente ao edifício, pois contém dados de informação relativa à forma e localização do edifício, materiais e definição dos sistemas MEP, possibilita efetuar simulações de projetos, bem como, incorporar medidas de sustentabilidade desde as fases iniciais do projeto [121]. Através de simples análises dos elementos construtivos, desempenho energético, absorção da radiação solar e sustentabilidade, é possível obter projetos mais rigorosos e eficientes, ao mesmo tempo que se reduz o impacto da construção. Nesse âmbito, o BIM pode auxiliar na otimização da sustentabilidade de um projeto nas seguintes áreas [123]:

- Seleção de uma adequada orientação do edifício;
- Análise e otimização da forma, bem como da envolvente do edifício;
- Análise da iluminação natural;
- Análise do conforto acústico;
- Redução das necessidades de consumo de água e reaproveitamento de água;

- Redução das necessidades energéticas e análise da contribuição dos sistemas de energia renovável, através de simulações energéticas;
- Redução da utilização de material e utilização de materiais recicláveis;
- Redução de desperdícios de material e da pegada ecológica.

De facto, de entre as várias aplicações, o processo BIM pode ser destacado como uma tendência emergente para a ACV, Figura 23, de uma construção no que se refere à sustentabilidade. Geralmente, a pesquisa sobre a integração da ACV no BIM concentra-se na extração de quantidades de forma a estabelecer um Inventário de Ciclo de Vida. Durante o desenvolvimento do projeto podem ser identificados impactos ambientais negativos a serem solucionados, permitindo a gestão do aproveitamento dos recursos da natureza através do conceito de qualidade ambiental [124]. No entanto, frequentemente, as partes interessadas não possuem dados suficientes para realizar a ACV nas fases iniciais, aplicando-a unicamente nas fases finais de um projeto [125],[126], [127].

De forma a implementar a ACV nas fases iniciais do projeto, surge uma ACV baseada em BIM onde os projetistas podem comparar o impacto ambiental das suas soluções e melhorar o projeto de construção [126]. Assim, identificam-se três formas de vincular BIM e ACV: quantificação de materiais e elementos construtivos (inventário de ciclo de vida); informações ambientais integradas em *software* BIM; desenvolvimento de um processo automatizado combinando diferentes dados e *software* [128],[129].



Figura 23 - Avaliação do Ciclo de Vida (Fonte: [130]).

Relativamente à eficiência energética, no âmbito da sustentabilidade, existe uma variedade de possibilidades e de *softwares* que permitem a sua análise e otimização, como: *IES<VE>*; *Green Building Studio*; *Equest*; *Energy Plus*; *Daysim*; *Radiance*; *Climate Consultant*; *WUFI-ORNL/IBP*; *Excel*; *EcoDesigner STAR*.

A título de exemplo, a ferramenta BEM (*Building Energy Model* – Modelo de Energia) de avaliação energética do *software Archicad*, o “EcoDesigner STAR”, permite formatar e gerar relatórios sobre o modelo BIM, bem como extrair informações do modelo. Os relatórios podem ser emitidos durante a fase de estudo preliminar do edifício, onde as decisões são tomadas juntamente com o projetista e, se necessário, são realizadas alterações. As informações expostas no relatório incluem: Informações do projeto; Consumo de energia por fontes e por objetos; Balanço energético; Resumo do sistema renovável do edifício; Impacto ambiental; Mensagens de orientação; Perfil da temperatura diária; Consumo de energia; Linha de base do desempenho e custos energéticos; Dados de AVAC; Avaliação de desempenho [103].

Outro exemplo é o *Green Building Studio*, que permite a criação de simulações energéticas na *cloud*, que podem ser utilizadas desde o projeto conceptual até o projeto detalhado. Neste pode ser criado um BEM, obtendo resultados para análises energéticas e de orientação solar, entre outras medidas sustentáveis. A sustentabilidade nas fases de manutenção e operação dos edifícios pode ser coordenada de forma eficiente e com maior organização com recurso ao FM. O FM engloba múltiplos fatores, de forma a garantir funcionalidade, conforto, segurança e eficiência do ambiente construído, integrando pessoas, lugares, processos e tecnologia, como se observa na Figura 24 [131].

Nestas etapas, a utilização do BIM é uma mais-valia pois torna as intervenções mais rápidas, confiáveis e corretas, uma vez que o edifício é representado em 3D e toda a informação do mesmo se encontra numa única base de dados. Assim, qualquer responsável pela operação do edifício pode recorrer a este modelo para obter e adicionar as informações necessárias para operar, sendo qualquer alteração automaticamente atualizada [80].



Figura 24 - Facilities management (Fonte:[131]).

A abordagem BIM à gestão de instalações (BIM-FM) consiste na gestão das instalações que são suportadas pelos recursos obtidos, sejam estes modelos 3D, bases de dados ou qualquer outro tipo de informação fornecida pela metodologia BIM. Quando aplicada a metodologia BIM com toda a informação disponível, é possível economizar tempo em análises morosas, pois o modelo permite o acesso quase instantâneo a essas informações, como por exemplo aos detalhes, à localização, ao fabricante, às normas, aos custos de desempenho, entre outros.

Esta abordagem tem um impacto significativo na elaboração de um projeto, pois permite a padronização do processo de trabalho, ao contrário do que acontece nos processos tradicionais, onde a gestão da instalação e a restante construção são duas fases independentes. Com a introdução da metodologia BIM-FM, essa discriminação desaparece e o método de processo torna-se uniforme, o que resulta numa maior funcionalidade e utilidade por parte do Dono de Obra [132].

No que se refere aos métodos de avaliação da sustentabilidade, o BIM proporciona uma plataforma capaz de atingir a sua compatibilidade com os critérios de classificação da sustentabilidade. A aplicação de tecnologias com base em BIM na certificação de sustentabilidade aumentou recentemente, sendo o LEED a ferramenta que contém mais aplicações BIM e sobre a qual há mais investigações [11]. Os resultados destas investigações mostram que parte dos parâmetros necessários à avaliação da sustentabilidade podem ser, diretamente ou indiretamente, obtidos através do *software Revit* e do *software IES VE*. A estrutura conceptual simplificou o processo de certificação LEED e, simultaneamente, economizou diversos recursos [13].

No caso do BREAM *Plus* utilizou-se o BIM para reunir os dados necessários para a avaliação do nível de sustentabilidade das edificações, considerando também o *Revit* como plataforma BIM. Os resultados comprovaram que 26 dos 56 critérios conseguiram ser avaliados rapidamente e com menos recursos quando suportados pelo BIM [3].

No caso da Certificação Australiana *Green Star*, as tecnologias BIM foram aplicadas a um escritório comercial, no entanto, apenas 66% dos créditos foram abordados com recurso ao BIM, o que sugere que as funcionalidades do BIM não foram aproveitadas na sua totalidade [133]. Por outro lado, na certificação *New Zealand Green Star*, 75% dos parâmetros foram suportados pelo BIM, destacando a importância da criação de diretrizes adequadas para uma integração bem-sucedida [134].

No que se refere à elaboração de projetos no âmbito da dimensão económica, não basta ter um sistema de avaliação da sustentabilidade económica, é igualmente importante incorporá-lo no processo de planeamento e desenvolvimento. Neste contexto, o BIM representa uma abordagem futurista e tem o

objetivo crucial de desenvolver técnicas e métodos inovadores para o desenvolvimento de uma estrutura de avaliação de sustentabilidade económica. A combinação de estratégias MAS e BIM possibilita a mudança das práticas de projeto tradicionais e permite alcançar um projeto de elevado desempenho [135]. Embora na maioria dos casos o BIM afete indiretamente a sustentabilidade económica, este apresenta alguns benefícios incluindo a redução dos custos indiretos, economias significativas de custos e tempos e apoio no processo de tomada de decisão [135].

Devido à sua complexidade técnica, a avaliação económica da sustentabilidade ainda se destaca como uma das barreiras do desenvolvimento sustentável. De facto, constata-se um incremento de 23% no investimento, assim como uma redução em 89% dos custos anuais de utilização, causados pelas medidas de reabilitação sustentável implementadas, em relação à reabilitação básica. Deste modo, apesar da reabilitação sustentável proporcionar um aumento do investimento inicial, verifica-se que a médio prazo se obtém um retorno do investimento através das reduções dos custos de utilização [136].

De modo geral diversos autores de investigação desta área concordam que o BIM ainda não é adequadamente utilizado para apoiar projetos de construção sustentável, mas apresenta grande potencial. Apesar de todos os benefícios na simplificação da abordagem, até ao momento, o BIM não tem sido utilizado de forma abrangente nos MAS. Isto deve-se à insuficiência de investigações que consideram todas as dimensões da sustentabilidade e à carência de qualificações por parte da equipa de projeto. Para além disso, existe uma lacuna de interoperabilidade entre plataformas e ferramentas BIM que origina perdas de informações durante a exportação do modelo, requerendo desenvolvimento adicionais nos formatos existente para partilha de informação. No entanto, o BIM é considerado uma ferramenta essencial na construção sustentável e pretende-se que seja amplamente utilizado no futuro próximo [13].

2.4.2. Exemplo do BIM na sustentabilidade - *Shanghai Tower*

A *Shanghai Tower*, como se observa na Figura 25, é um exemplo relevante de sucesso das aplicações do BIM para a sustentabilidade. Este arranha-céus localizado no distrito financeiro de Pudong, em Xangai foi inaugurado em 2015. O edifício de 632.00 metros de altura, ocupa uma área de cerca de 380 000 metros quadrados e é o segundo edifício mais alto do mundo e o mais alto da China, bem como, o mais sustentável [137].

As fachadas transparentes em dupla camada de vidro criam uma zona de amortecimento térmico para minimizar o ganho de calor e a natureza espiral da fachada exterior maximiza a iluminação natural e cria

fortes conexões visuais com contexto circundante, enquanto reduz as cargas de vento e conserva materiais de construção. De forma a economizar energia, a instalação inclui o seu próprio parque eólico e sistema geotérmico. Além disso, o sistema de recuperação de águas pluviais e reciclagem de águas cinzentas reduzem o consumo de água [137]. O dono e a equipa de projetistas ambicionavam a qualificação Gold no sistema de avaliação LEED, tendo obtido a uma classificação de *Platinum* que se traduz numa economia significativa dos custos da *Shanghai Tower*. Por exemplo, entre todos os sistemas de controlo inteligente do edifício, o sistema de iluminação sozinho economizará mais de 525 000 € por ano em energia [138].



Figura 25 - Shanghai Tower (Fonte: [137]).

O arquiteto e o vice-diretor do departamento de operações de projeto do *Architectural Design and Research Institute of Tongji University*, Jiliang Chen, compreendeu que seria extremamente difícil realizar este projeto com sucesso através da utilização de ferramentas e processos tradicionais e que a complexidade deste exigia *software* e métodos de dimensionamento distintos. O diretor sénior e gerente geral da Thornton Tomasetti, Yi Zhu, acrescentou que uma das questões mais desafiadoras seria a coordenação da extensa equipa de projeto [137].

De forma a cumprir as metas ambiciosas estabelecidas para o edifício, o proprietário da *Shanghai Tower* exigiu a implementação de um processo BIM para o projeto e construção. Do ponto de vista do proprietário, o BIM fornece uma excelente ferramenta para o projeto, construção, gestão e controlo do investimento [137].

No início do projeto o proprietário contratou a *Autodesk Consulting* para fornecer serviços de consultoria de estratégia e implementação do BIM, bem como formação técnica. A *Autodesk Consulting* ajudou o proprietário a desenvolver uma estratégia BIM, assim como um plano de implementação e reformulou os fluxos de trabalho do projeto e construção, de forma a dar suporte a processos com base em BIM.

Além disso, este projeto estabeleceu novos padrões para a gestão de informações de projetos de construção na China [137].

A integração do BIM possibilitou a partilha de modelos, colaboração e contribuição com conhecimento sobre o modelo de todas as equipas de arquitetura e engenharia, com projetistas em escritórios de todo o mundo. O BIM acelerou todo o processo e permitiu que os engenheiros tivessem acesso aos dados do projeto e tamanhos geométricos diretamente dos modelos de construção, para a utilização dessas informações no cálculo e análise [137]. Por exemplo, com recurso ao *software Ecotect* foi possível analisar o brilho da torre em toda a cidade, permitindo à equipa de projeto otimizar a fachada externa na posição e ângulo de peças individuais de vidro, para minimizar a poluição luminosa. Para além disso, a visualização do edifício virtual em 3D possibilitou uma melhor monitorização da construção e avaliação do progresso em relação ao planeado [137].

A sustentabilidade foi um dos grandes objetivos deste projeto e a utilização do *software Revit Architecture* possibilitou a análise de energia de todo o edifício, fornecendo aos projetistas *feedback* quantitativo sobre o desempenho energético do edifício. Relativamente à economia de materiais de construção, é estimado que o edifício seja constituído por menos 32% materiais do que uma torre convencional, tendo um grande impacto na redução de custos, bem como na energia necessária para fabricar aço e betão [137].

Após a conclusão da construção, o BIM continua a desempenhar um papel vital para a *Shanghai Tower*. A *Shanghai Tower Construction & Development* continua a utilizar o BIM para as operações e manutenção contínuas das instalações, bem como para a gestão de emergência e gestão da propriedade [137].

2.4.3. BIM & SBTTool^{PT-H}

Em função do potencial do BIM surge a oportunidade para os MAS adotarem e beneficiarem deste conceito. Apesar dos benefícios na simplificação da abordagem para a avaliação da sustentabilidade dos edifícios, até o momento, não se deu a integração de forma abrangente desta metodologia no processo de avaliação da sustentabilidade [13].

Os MAS devem ser aplicados desde as etapas preliminares do projeto, de modo a tornar o processo de dimensionamento sustentável mais eficiente e económico, originando um maior impacto no projeto de construção. Da mesma forma, o BIM deve ser aplicado em conjunto com os MAS com a finalidade de obter resultados exatos e concisos. Apesar do BIM ser extremamente benéfico durante as fases de projeto, o método deve também ser utilizado durante as seguintes etapas do ciclo de vida de um edifício, incluindo operação, reparação, manutenção e desconstrução, com a finalidade de maximizar as suas funcionalidades na promoção de edifícios eficientes e de alto desempenho [4]. Assim, surge a

possibilidade de incorporar medidas sustentáveis em todo o processo de projeto com recurso ao BIM, que pode efetivamente integrar todas as informações multidisciplinares num único modelo [135].

O BIM pode ser aplicado com o objetivo de melhorar o nível de sustentabilidade de um projeto no que se refere à orientação do edifício, na análise da luz do dia, na captação de água, nas energias renováveis, na modelação energética e na escolha dos materiais sustentáveis. A metodologia BIM pode também oferecer outros recursos, direta ou indiretamente ligados à sustentabilidade, como a lista de materiais e estimativas de custos automáticos e precisos; a redução dos recursos; a gestão de resíduos de construção, desconstrução e reabilitação; e a atualização automática das modificações do projeto [4]. Com isto, o BIM permite uma avaliação de sustentabilidade de forma expedita e com menor necessidade de recursos. No entanto, possui limitações como: o processo demorado e complexo; a necessidade de utilização de diferente *software*; as lacunas de interoperabilidade; e a necessidade de desenvolver planos de execução e coordenação para a certificação de edifícios [129].

Como mencionado anteriormente, a aplicação do BIM no SBTTool, ainda se encontra numa fase inicial. Efetivamente, aos parâmetros da metodologia de avaliação de sustentabilidade SBTTool^{PT-H} podem ser diretamente ou parcialmente obtidos com recurso a ferramentas ou plataformas BIM. O *Revit* foi identificado como o *software* BIM mais útil no caso do SBTTool^{PT-H}. Este tem a capacidade de apoiar a avaliação de mais de uma dezena de parâmetros, uma vez que se tratam principalmente de dados quantitativos do modelo de construção. Para além disso, também se identifica outro *software* que pode ser utilizado na avaliação dos restantes critérios, como o *Green Building Studio*, *Cype* ou *Microsoft Excel* [11].

Um estudo de Carvalho et al. [13] desenvolveu uma estrutura conceptual para a integração do BIM no SBTTool^{PT-H}, o SBTTool^{BIM}, e sugere abordagens BIM para a avaliação de cada parâmetro. A proposta teórica revelou que, com recurso ao *Revit*, é possível avaliar totalmente ou parcialmente 13 dos 25 parâmetros do SBTTool^{PT-H}, Tabela 7. Estes parâmetros pertencem às categorias “Alterações climáticas e qualidade do ar exterior” (1/1), “Uso do solo e biodiversidade” (5/5), “Materiais e resíduos sólidos” (5/5) e “Conforto e saúde dos utilizadores” (2/5).

Tabela 7 - Parâmetros avaliados total ou parcialmente com recurso a ferramentas BIM (Fonte: [13]).

	Parâmetros	Dados necessários para o SBTTool ^{PT-H}	Revit		UI	
			T	P		
Ambiental	P1 – Impacto ambiental associado aos materiais de construção	Quantidades de materiais; Impactos do ciclo de vida do edifício.		X		
	P2 – Densidade urbana	Área total de construção; Área do local; Uso Índice Máximo de utilização do Solo.		X	✓	
	P3 – Índice de impermeabilização do solo do empreendimento	Área de solo impermeabilizado e não impermeabilizado; Área do local.	X			
	P4 – Uso de terra pré-contaminada	Área de terra pré-contaminada; Área do local.	X			
	P5 – Uso de plantas nativas	Área verde; Área de plantas nativas.	X			
	P6 – Efeito de ilha de calor	Área do local; Área verde; Área com reflectância ≥ 60 %.	X			
	P9 – Materiais e produtos reaproveitados	Custo total do material; Custo total de material reutilizado.	X			
	P10 – Uso de materiais com conteúdo reciclado	Quantidades de materiais; Percentagem de conteúdo reciclado por material.		X		
	P11 – Uso de materiais orgânicos certificados	Custo total de material orgânico certificado; Custo total de material orgânico.	X			
	P12 – Uso de substitutos do cimento no betão	Peso total de substitutos de cimento; Peso total do ligante utilizado no betão.	X			
	P13 – Gestão de resíduos durante fase de operação	Tipo, número e volume dos contentores do lixo internos; Tipo e distância dos contentores do lixo exteriores.		X	✓	
	Social	P16 – Potencial de ventilação natural	Áreas com ventilação natural (ventilação cruzada ventilação unilaterial); Áreas totais de piso e janelas; Tipo de caixilho das janelas.		X	✓
		P17 – Qualidade do ar interior	Quantidade de materiais de acabamento com baixo COV; Quantidade total de materiais de acabamento com COV.	X		

Este artigo recorreu a um caso de estudo que possui dados específicos para a avaliação dos parâmetros mencionados na tabela anterior. O modelo compreendeu a topografia, os modelos arquitetónicos e estruturais, assim como informações sobre as características necessárias para o SBTTool^{PT-H}. Esses dados foram atribuídos aos objetos e elementos do modelo utilizando os “Parâmetros Compartilhados”, que permitem personalizar o tipo de dados contidos em cada objeto e elemento do modelo. Um total de 14 parâmetros compartilhados foram criados para detalhar o modelo com os dados necessários para a avaliação do SBTTool^{PT-H}. Os objetos do modelo foram caracterizados de forma correta e categórica para permitir a agregação de todos os dados em tabelas de quantidades. Após a modelação, as tabelas de quantidades do *Revit* foram utilizadas para filtrar e extrair as informações necessárias para a avaliação. Em seguida, os cronogramas foram vinculados ao ficheiro *Exce*/do SBTTool^{PT-H} para automatizar e avaliar os parâmetros de sustentabilidade em estudo [13].

A automatização do processo anterior e o desenvolvimento da aplicação com base em BIM deu-se com recurso ao *Dynamo*. [139]. Foi desenvolvido um *script* no *Dynamo* que requisita *inputs* específicos do projeto e acrescenta novas propriedades aos elementos e aos materiais do modelo *Revit*. Estes são utilizados no *script* final que automatiza os cálculos associados à avaliação e apresenta os resultados da classificação de cada parâmetro da avaliação da sustentabilidade.

A aplicação prática desta estrutura de avaliação da sustentabilidade de edifícios residenciais em SBTTool^{PT-H} com base em BIM tem a capacidade de apoiar a avaliação dos critérios compreendidos nas categorias ambiental e social. No entanto, no caso sustentabilidade económica existe uma séria desfasagem entre esta área de avaliação da sustentabilidade dos edifícios residenciais e o uso do BIM. A presente dissertação dá continuidade ao trabalho de automatização realizado, promovendo a otimização e validação da estrutura de dados e da aplicação SBTTool^{BIM} desenvolvida. Nesta avaliam-se os 13 parâmetros: P2, P3, P4, P5, P6, P9, P11, P12 e P13 da dimensão ambiental e P16, P17, P22 e P23 da dimensão social. Numa primeira fase desta avaliação é agregada toda a informação do projeto necessária à criação do modelo BIM. Posteriormente, a informação recolhida é utilizada para modelação em *Revit* e inserida nos parâmetros partilhados criados. Executada a aplicação em *Dynamo*, é exigido o preenchimento de uma *checklist* alusiva aos dados dos parâmetros P13, P16, P22 e P23. Numa fase final, a aplicação realiza o cálculo automático e os resultados são obtidos com recurso a uma *interface*, gerada pela aplicação, onde são apresentadas as classificações de cada parâmetro. Esta ferramenta encontra-se em desenvolvimento e irá contemplar pelo menos 19 parâmetros, assim como a indicação de *software* BIM para os restantes 6.

Nesta fase o SBTTool^{BIM} não compreende os parâmetros económicos, sendo um dos principais objetivos desta dissertação a introdução dos mesmos na estrutura de dados existente. De facto, a integração dos parâmetros económicos na avaliação da sustentabilidade dos edifícios tem o potencial de ser um novo vetor de crescimento económico e social, porém, neste momento, os parâmetros económicos da sustentabilidade não são integrados na intrínseca tomada de decisão de um projeto e a falta de ferramentas no contexto BIM, impossibilita o desenvolvimento dos projetos de construção economicamente sustentáveis [135]. De forma a atingir estes resultados são necessárias mudanças na economia, na conduta dos governos, na sociedade civil, nos consumidores e nas entidades privadas e públicas. Assim, conclui-se imperativo fechar a lacuna de conhecimento sobre a aplicação prática do BIM nas MAS e a integração dos parâmetros económicos na avaliação da sustentabilidade dos edifícios a partir de SBTTool^{BIM}.

2.5. Caracterização do edificado

A nível internacional, Portugal reflete as tendências dos restantes países. De acordo com os dados relativos aos resultados conhecidos do Censo de 2011, a maioria dos edifícios habitacionais portugueses foram construídos nas décadas de 1970 e 1980, o que representa cerca de 51% de todo o parque habitacional português. Enquanto na Europa grande parte dos edifícios habitacionais, que se encontram em utilização, compreendem mais de 50 anos, em Portugal constatou-se que cerca de 81% dos edifícios foram construídos antes de 1990, o que representa uma idade média de 33.92 anos em 2001 [139].

Como é possível observar na Figura 26, cerca de 37% dos edifícios clássicos portugueses foram construídos antes da década de 1970. Em 2011 verificou-se uma diminuição desta percentagem em relação a 2001, possivelmente devido a demolições, alteração para uso não habitacional ou reclassificação da época de construção do edifício devido à requalificação [140]

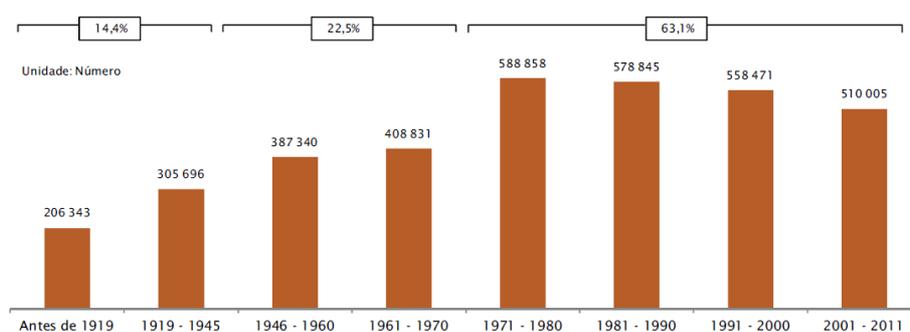


Figura 26 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício (Fonte: [140]).

No que se refere ao número de pisos desses mesmos edifícios, sempre predominaram os edifícios de baixa altura em território nacional. Os edifícios que constituem apenas um alojamento e possuem 1 ou 2 pisos e representam 90% dos edifícios anteriores a 1970. Aproximadamente 49% destes edifícios são isolados, 32% em banda e 19% germinados. Em 2011 estes valores variaram ligeiramente, sendo que os edifícios isolados compreenderam 60% destes, 16.80% eram geminados e 22.70% eram em banda. Desta forma, os edifícios isolados continuaram a predominar, seguidos dos edifícios em banda e dos geminados [140].

2.5.1. Características construtivas

Relativamente à estrutura dos edifícios habitacionais portugueses salienta-se que, em 2011, cerca de 48.60% tinha estrutura de betão armado, sendo que a restante maioria dos edifícios tinha estrutura constituída por paredes de alvenaria com ou sem placa, segundo a Figura 27. No entanto, nos métodos

construtivos anteriores a 1970 e tal como expectável, a estrutura em betão armado apresenta menos frequência, sendo as paredes de alvenaria com ou sem placa as soluções mais utilizadas. Para além disto, um quarto dos edifícios construídos até 1945 apresentam paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe [140].



Figura 27 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção (Fonte:[140]).

De realçar que, conforme se caminha para o interior norte do país, verifica-se um aumento da predominância de edifícios de paredes de alvenaria com ou sem placa e de paredes de alvenaria com pedra solta. Tal ocorre devido à utilização de matérias-primas locais nas construções destas regiões, nomeadamente as pedras graníticas. A utilização de pedra solta é muito comum na região do interior norte face à extensa mancha granítica existente na zona [140].

Atualmente, o desenvolvimento das soluções e técnicas construtivas leva ao crescente aparecimento de estruturas em betão armado, segundo a Figura 28. Este tipo de estrutura e o uso de paredes de alvenaria com placa compreendem os principais métodos construtivos [140].

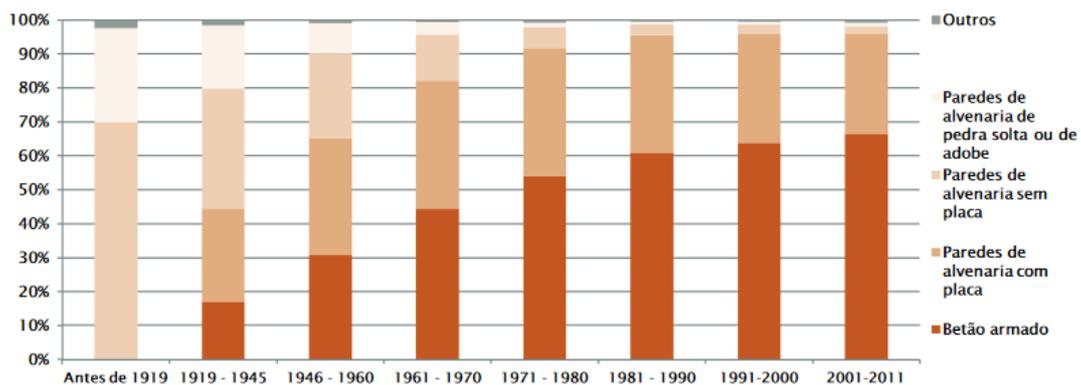
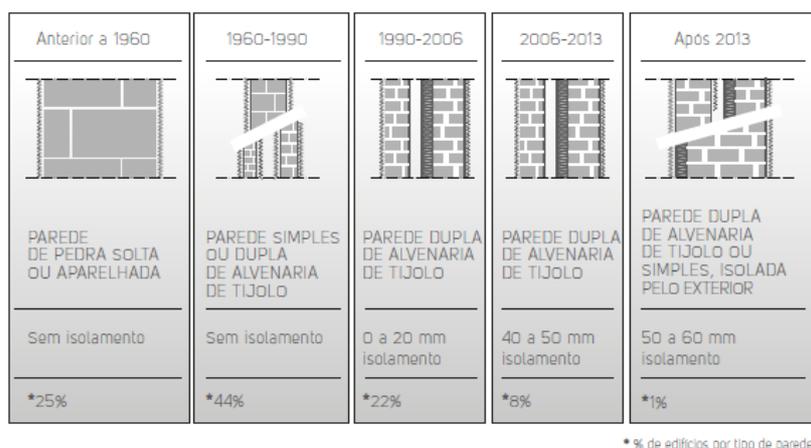


Figura 28 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção, por época de construção do edifício (Fonte: [140]).

No que se refere aos envidraçados, a solução das janelas instaladas em Portugal são, maioritariamente, uma solução pouco eficiente e de fraca qualidade. A maioria das janelas de Portugal, cerca de 72.30% a 75.40%, apresentam vidro simples. Relativamente à caixilharia, os materiais usuais são: o Alumínio,

Policloreto de vinila (PVC) ou Madeira; e algumas combinações entre eles, como por exemplo alumínio no exterior e madeira no interior. De facto, em 1.3 milhões de certificados energéticos emitidos, cerca de 1 milhão de janelas instaladas correspondem a caixilhos ineficientes com vidro simples [141].

De acordo com a estatística nacional referente aos edifícios com paredes de pedra solta, a Figura 29 apresenta a evolução das soluções construtivas de paredes, onde se observa a predominância da parede em alvenaria simples ou dupla e da parede de pedra solta nos edifícios anteriores a 1990. Para além disso, o aparecimento dos primeiros regulamentos térmicos, levaram à utilização do isolamento a partir da década de 90, embora fosse insuficiente ou incorretamente aplicado devida à falta de conhecimento.



* % de edifícios por tipo de parede

Figura 29 - Soluções construtivas utilizadas nas paredes em Portugal, por época de construção do edifício (Fonte:[142]).

De forma a colmatar esta ineficiência energética, o governo Português apresenta programas de incentivo à melhoria da eficiência energética das casas, como é exemplo o “Apoio: Edifícios Mais Sustentáveis”. Neste as obras ou compras de material podem ser comparticipadas a 70% do valor, existindo um limite de 7 500 euros. Este apoio engloba despesas tais como janelas eficientes, isolamento térmico, sistema de aquecimento e/ou arrefecimento ambiente e de águas quentes e instalação de painéis fotovoltaicos, partindo do princípio que são utilizados materiais reciclados/ecomateriais e que os sistemas recorram a energia de fonte renovável.

Quanto ao revestimento exterior típico das paredes em Portugal, predominam os rebocos tradicionais e marmorites, correspondendo a 84% dos edifícios. Nos edifícios construídos até 1970, verificou-se um aumento progressivo da proporção dos edifícios com revestimento exterior em reboco tradicional ou marmorite, passando de 60.30% nos edifícios construídos antes de 1919 para 84.20% nos edifícios construídos entre 1961 e 1970. Compreende-se que há uma maior utilização do reboco tradicional e do betão à vista como revestimento exterior de paredes e uma diminuição da utilização da pedra [140].

Quanto ao tipo de revestimento da cobertura, a cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas ou de betão constitui 93.10% das coberturas dos edifícios portugueses. No entanto, a última década apresenta um pequeno aumento das coberturas em terraço, representando 3% do edificado atual, refletindo a atual tendência para as coberturas planas [140].

Relativamente à solução de suporte da cobertura, verifica-se que a estrutura em madeira sem aplicação de isolamento é o método tradicional de execução de coberturas. É de realçar a alteração da estrutura em madeira para estrutura em betão a partir de 1960, sendo que a aplicação do isolamento só se torna regular a partir da década de 2000.

No que se refere a pavimentos, a sua natureza alterou-se substancialmente, desde os primeiros tempos da construção Pombalina, com pavimentos em madeira, até às datas de 1940 a 1960. Estas datas são caracterizadas pela introdução do betão armado. Numa primeira fase esta introdução deu-se ao nível dos pavimentos das casas de banho, cozinhas e varandas (zonas húmidas), e posteriormente em todo o pavimento [143], como se pode observar na Figura 30. Prática corrente, consiste na execução de laje em betão com caixa de ar.

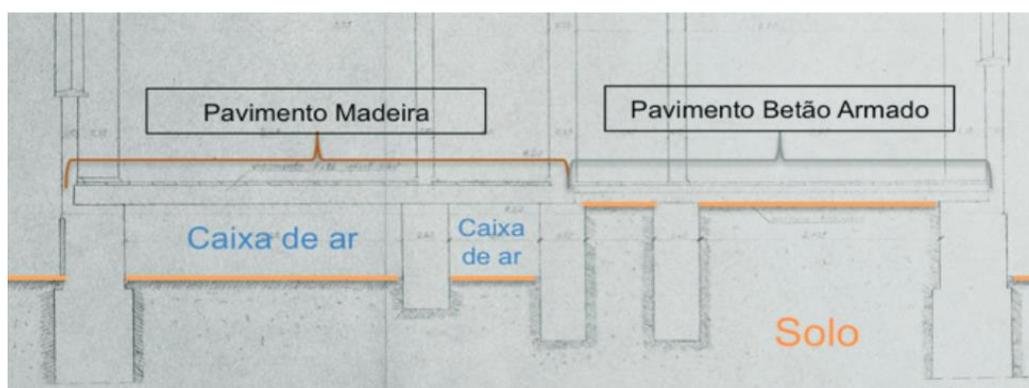


Figura 30 - Pavimento de madeira e de betão armada (Fonte: [144]).

Em 2011, e como indicado na Figura 31, a maioria dos edifícios do país (71.10%) não apresentava necessidades de reparação, sendo que 17.60% necessitam de pequenas reparações, 6.90% têm necessidades médias e 2.70% mostram grandes necessidades. O número de edifícios muito degradados é pouco significativo, com valor de 59 155, que representa 1.70% dos edifícios em Portugal [140].

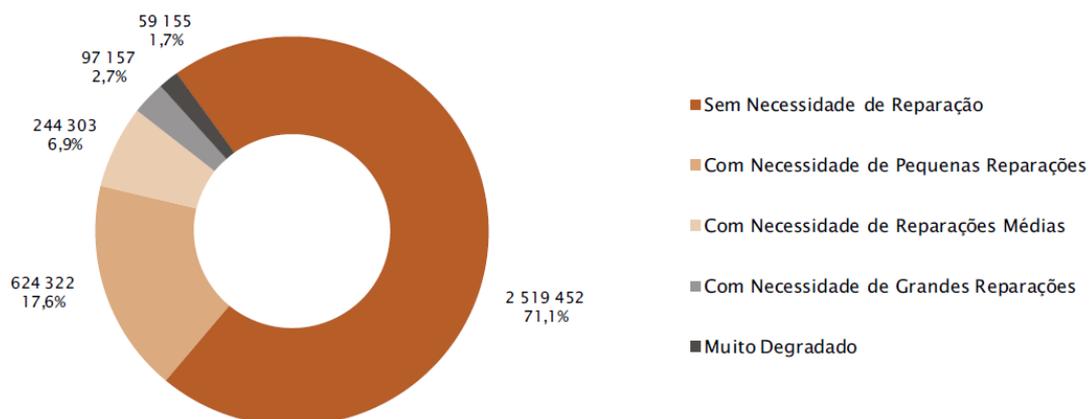


Figura 31 - Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação ((Fonte:[140])).

Segundo a época de construção do edifício, verifica-se que o estado de conservação melhorou de forma acentuada nos edifícios mais recentes. No entanto, quase mais de metade dos edifícios anteriores a 1970 tem necessidade de algum tipo de reparação, segundo a Figura 32 [140].

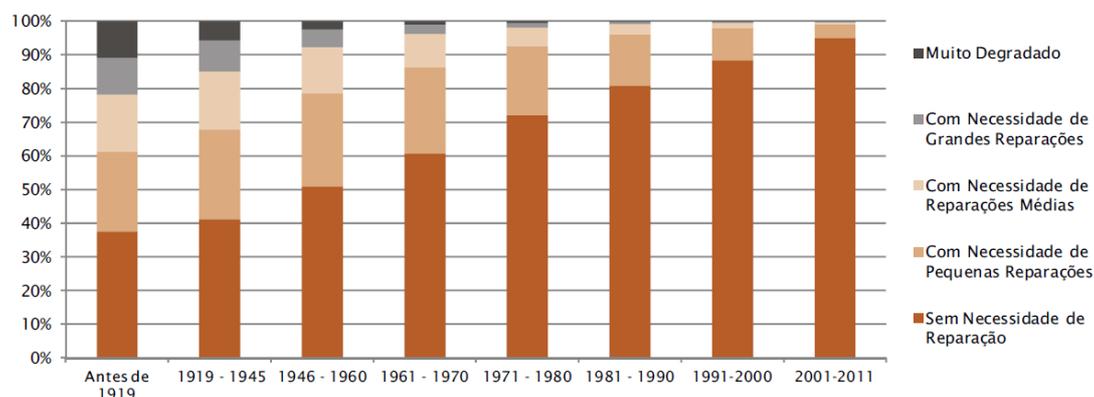


Figura 32 - Distribuição de edifícios clássicos segundo o estado de conservação, por época de construção do edifício ((Fonte:[140])).

Em 2011, nas regiões do Grande Porto, Tâmega, Grande Lisboa, Douro e Algarve, aproximadamente 4% do parque edificado português tinha necessidades de grandes reparações. Tal é possível afirmar, uma vez que mais de metade do edificado português, ou seja 58.10%, são edifícios construídos antes de 1945 [140].

Por outro lado, apesar da maioria do edificado português não evidenciar necessidades de reparação, a grande maioria precisa de obras para aumento do seu desempenho energético. De facto, o parque habitacional português reduziu o seu consumo de energia em 8.10% face a 2008, segundo a Figura 33, sendo responsável por cerca de 17.70% do consumo global de energia no país, segundo a Figura 34 [145].

SETOR DOMÉSTICO (ktep)



Figura 33 - Consumo de energia no setor doméstico (Fonte: [145]).

DOMÉSTICO

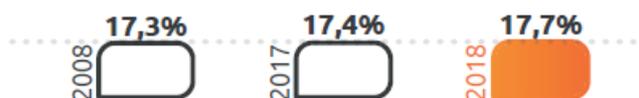


Figura 34 - Distribuição do consumo de energia final no setor doméstico (Fonte: [145]).

Devido, fundamentalmente, ao aumento da produção hidroelétrica (+37%), da fotovoltaica (+26%) e do aumento da utilização da biomassa para a produção de energia elétrica (+18%), em 2020 a produção de energia doméstica aumentou 2.30% em relação ao ano anterior [146].

Portugal tem apresentado uma dependência energética entre 70% e 90% nos últimos vinte anos, o que se deve à inexistência de produção nacional de petróleo, gás natural ou outras fontes de energia fósseis. O investimento nas energias renováveis e na eficiência energética, possibilitou baixar a dependência energética de Portugal para níveis inferiores a 80%, segundo a Figura 35. Para além disto, em 2014 foi possível a produção de energia através de bombas de calor, o que possibilitou o recuo da dependência energética [145].

DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA

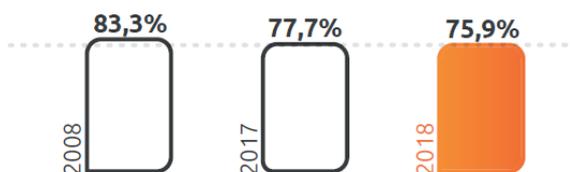


Figura 35 - Dependência energética de Portugal (Fonte: [145]).

Em 2018 Portugal foi o 7º país com a maior dependência energética, comparativamente com a dependência energética entre os países da União Europeia, conforme a Figura 36 [145].

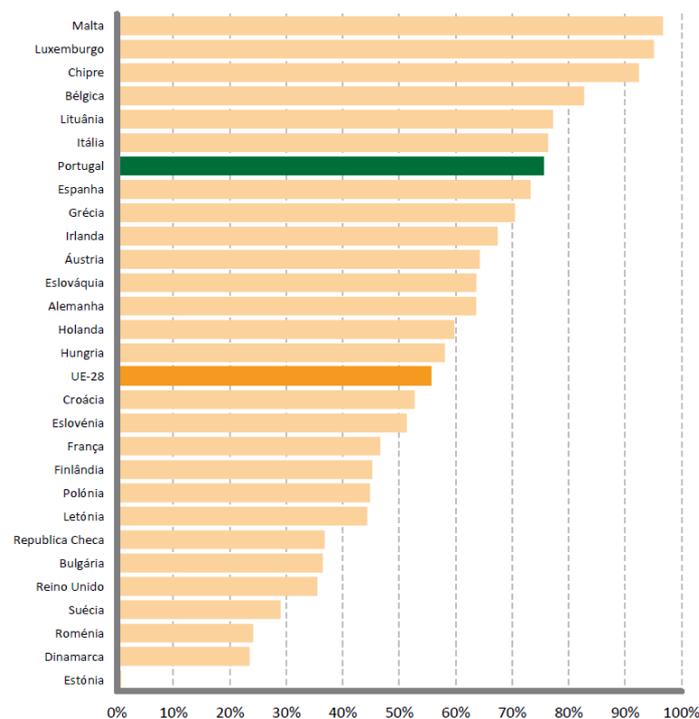


Figura 36 - Dependência energética na UE-28 em 2018 (Fonte: [145]).

No entanto, a principal fonte de energia em Portugal continua a ser o petróleo, sendo responsável por 43.50% da energia final consumida no país, conforme a Figura 37. É possível verificar o aumento do reconhecimento da energia renovável ao longo dos últimos anos, através do crescimento significativo das suas percentagens como fonte de energia, sendo que representam 34.10% do consumo final bruto de energia em 2020, segundo a Figura 38 [146].

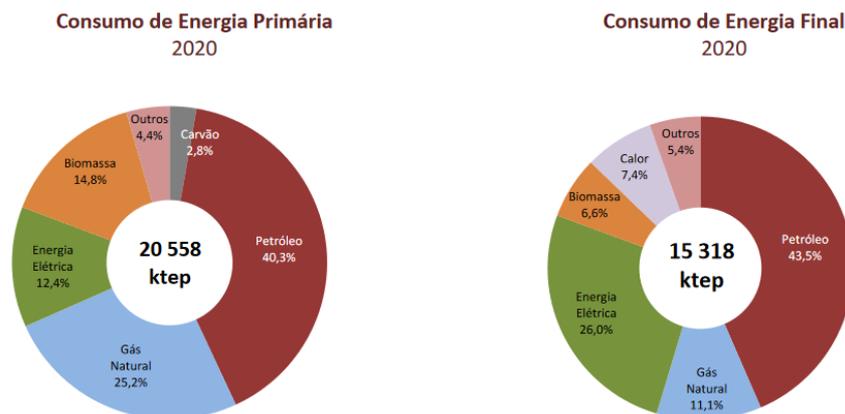


Figura 37 - Fontes de energia primária e final 2020 (Fonte:[146]).

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
FER (%)	24,6%	24,6%	25,7%	29,5%	30,5%	30,9%	30,6%	30,2%	30,6%	34,1%
Trajectoria indicativa	22,6%	22,6%	23,7%	23,7%	25,2%	25,2%	27,3%	27,3%	29,2%	31,0%

Figura 38 - Fração de fontes de energia renovável (FER) no consumo final bruto de energia (CFBE) (Fonte:[146]).

No que diz respeito às diferentes utilizações de energia nos alojamentos, a cozinha concentrou a maior parte do consumo global sendo este valor de 34.80%, o aquecimento de águas surge imediatamente a seguir com 22% e de seguida os equipamentos elétricos com 21.40%. O consumo de energia para o aquecimento do ambiente correspondeu a 19.10% do consumo total de energia, segundo a Figura 39 [147].

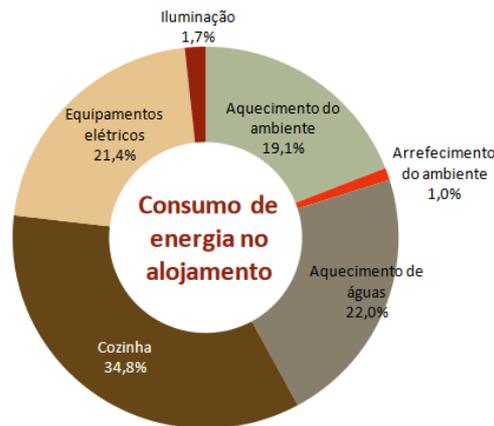


Figura 39 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de uso (Fonte: [147]).

Portanto, de forma a descrever a situação efetiva de desempenho energético de um imóvel, após 1 de janeiro de 2009, tornou-se obrigatória a apresentação de um certificado energético válido para qualquer edifício, novo ou existente aquando da celebração do respetivo contrato de compra, locação ou arrendamento. Para além disto, a partir do dia 1 de dezembro de 2013, deve ser indicada a classificação energética constante do respetivo projeto de certificado ou certificado energético em qualquer anúncio publicado com vista à venda ou locação ou arrendamento de um edifício. Neste certificado consta o cálculo dos consumos anuais de energia previstos e é qualificada a qualidade do ar interior de um edifício ou fração autónoma, classificando o imóvel em função do seu desempenho energético numa escala de 8 classes (de A+ a F). De acordo com a Figura 40, em 2019, as classes A, C e D predominavam no parque habitacional, representando um total de 55.20% [145].

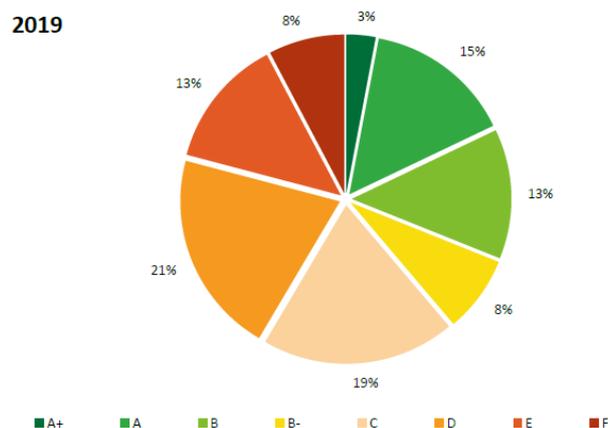


Figura 40 - Classe energética do parque habitacional em 2019 (Fonte: [145]).

3. METODOLOGIA

Como mencionado anteriormente, a dissertação tem como finalidade o alcance dos objetivos que passam pela análise comparativa entre a avaliação da sustentabilidade de um edifício com o SBTool realizada com e sem recurso ao BIM, bem como, pela integração da avaliação dos respetivos parâmetros económicos no contexto BIM. Para tal, será utilizada uma abordagem orientada para o problema, uma vez que o objetivo é encontrar uma solução prática para um caso prático – desenvolver um método que simplifica e otimiza o MAS português, SBTool^{PT-H}, usando a abordagem BIM, de forma a comprovar o potencial do BIM na avaliação dos critérios de sustentabilidade, bem como, expandi-lo aos parâmetros económicos.

Numa fase inicial, o desenvolvimento da investigação irá consistir na pesquisa de publicações científicas em bases de dados, nomeadamente o *Google Scholar*, o *Elsevier* e o *Academia*, de forma a auxiliar a busca de material científico relevante. A análise de elementos com os mais recentes desenvolvimentos do BIM nos tópicos da sustentabilidade, construção sustentável e BIM, irá possibilitar a obtenção de conhecimento relevante ao desenvolvimento da dissertação. Posteriormente será executada uma análise do edificado nacional de modo a definir um caso de estudo representativo do edificado português. Assim, com base na caracterização do edificado será selecionado um projeto capaz de ser empregue como caso de estudo, possibilitando a elaboração de um modelo BIM. O projeto do edifício selecionado compreende características semelhantes ao edificado português, nomeadamente as paredes em alvenaria, as caixilharias em alumínio, os revestimentos em reboco tradicional, o pavimento em betão e a tipologia de edifício isolado. Numa fase seguinte, descreve-se o caso de estudo selecionado, bem como todas as suas características e soluções construtivas relevantes para a avaliação e a elaboração do modelo.

Seguidamente, de forma a proceder à validação e otimização da estrutura de dados SBTool^{BIM}, será necessário a avaliação dos parâmetros P2, P3, P4, P5, P6, P9, P11, P12 e P13 da dimensão ambiental e P16, P17, P22 e P23 da dimensão social da sustentabilidade de um edifício residencial português com e sem recurso à metodologia BIM, tendo por base o caso de estudo. Numa fase posterior, será efetuado um levantamento das vantagens e desvantagens de cada método e, com os resultados alcançados nas duas avaliações, será realizada uma relação comparativa entre as duas metodologias, validando, ou não, todo o processo, conforme a Figura 41. Finalmente, será criada uma proposta de integração dos parâmetros económicos na estrutura SBTool^{BIM} existente.

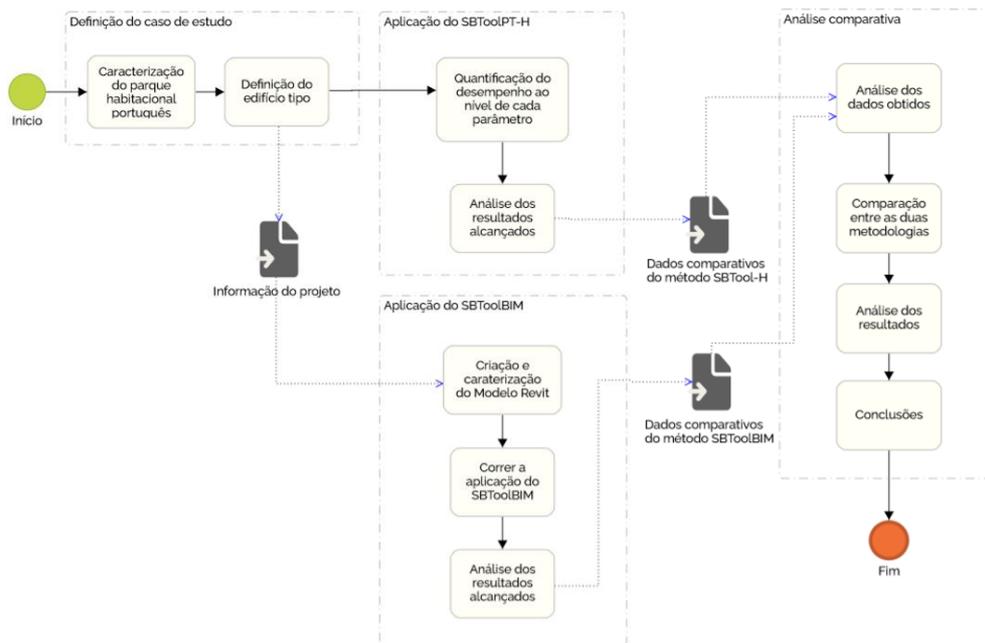


Figura 41 - Processo de investigação (Fonte: Elaborada pela autora).

O capítulo encontra-se dividido em duas partes, o “Desenvolvimento da investigação” e a “Caracterização do caso de estudo”. A primeira parte apresenta quatro subcapítulos, iniciando com a avaliação “Método tradicional de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT-H}”, com recurso ao caso de estudo selecionado e a folhas de *Excel*. De seguida, surge o “Método de avaliação da sustentabilidade SBTool^{BIM}” onde se realiza esta avaliação com recurso ao *software Revit* e à *Application Programming Interface (API) Dynamo*. Finalmente, apresenta-se a Análise comparativa entre o método tradicional SBTool^{PT-H} e o método SBTool^{BIM}. Por fim, é analisado e proposto um método de integração dos parâmetros P24 e P25, da dimensão económica do SBTool^{PT-H}, na atual estrutura de dados SBTool^{BIM}.

A segunda parte do capítulo apresenta a seleção do caso de estudo tendo em conta as principais características de um edifício residencial português. Neste, é realizada a “Identificação do edifício”, a sua “Localização e acessos”, “Arquitetura e equipamentos” e é apresentada a “Caracterização construtiva”.

3.1. Desenvolvimento da investigação

3.1.1. Método tradicional de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT-H}

De maneira a proceder com a validação da estrutura SBTool^{BIM}, inicialmente será analisado o “Guia de Avaliação SBTool^{PT-H}” de modo a aprofundar o conhecimento da metodologia SBTool^{PT-H} e posteriormente aplicá-la, através do método tradicional, a um caso de estudo. Neste método tradicional serão consideradas as dimensões ambiental e social do desenvolvimento sustentável, tais como são atualmente consideradas no SBTool^{BIM} e a classificação final da edificação irá depender da comparação do seu desempenho com dois benchmarks: práticas convencionais e melhores práticas. Este processo encontra-se descrito no Anexo I. A estrutura do “Guia de Avaliação SBTool^{PT-H}” que apoia a metodologia inclui, conforme a Figura 42:

- A qualificação do desempenho do edifício ao nível de cada indicador, apresentado um guia de avaliação;
- A normalização e agregação de parâmetros;
- O cálculo da classificação de sustentabilidade e avaliação global.

Na prática, o limite físico desta metodologia inclui o edifício e as obras externas no local da construção. Excluem-se questões como o impacto urbano nas imediações, a construção de redes de comunicação, energia e transporte. Cronologicamente, é abrangido todo o ciclo de vida do edifício, desde a sua implantação à desconstrução, passando pela fase de utilização.

De acordo com a atual estrutura SBTool^{BIM}, que contempla 5 categorias e 12 indicadores, referentes às dimensões ambiental e social, apenas estes indicadores serão validados através da sua avaliação manual, Tabela 8. Tal deve-se ao facto da informação necessária para a avaliação dos parâmetros seleccionados ser quantitativa e de obtenção, direta ou parcial, com recurso ao modelo BIM.

A fim de facilitar a interpretação dos resultados deste estudo, os principais passos da abordagem SBTool^{PT-H} serão apresentados nas próximas secções.

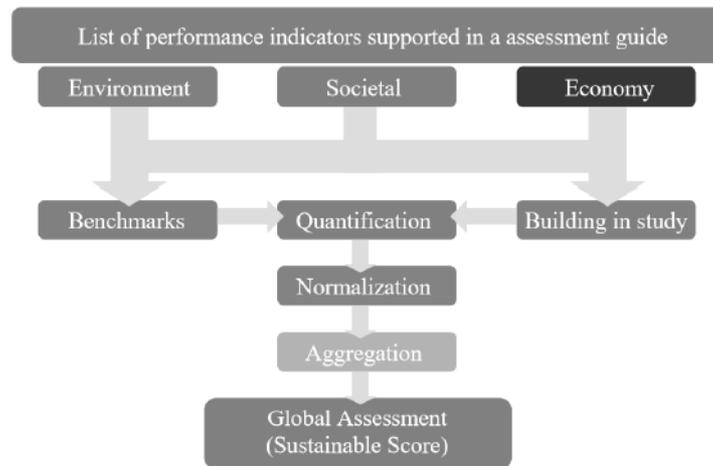


Figura 42 - Estrutura da metodologia SBTTool^{PT-H} (Fonte: [148]).

Tabela 8 - Dimensões e respectivas categorias da sustentabilidade na metodologia SBTTool^{BIM} (Fonte: [45]).

Dimensões da Sustentabilidade	Categorias	Indicadores	Parâmetros
Ambiental	C2 – Uso do solo e biodiversidade	Densidade Urbana	P2 Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível
		Reutilização de solo previamente edificado ou contaminado	P3 Índice de impermeabilização P4 Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada
		Uso de plantas autóctones	P5 Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones
	C4 – Materiais e Resíduos Sólidos	Efeito de ilha de calor	P6 Percentagem de área em planta com refletância igual ou superior a 60%
		Reutilização de materiais	P9 Percentagem de materiais utilizados
		Recurso a materiais certificados	P11 Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados
Social	C6 – Conforto e Saúde dos Utilizadores	Uso de substitutos de cimento no betão	P12 Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão
		Condições de armazenamento de resíduos sólidos durante a fase de utilização do edifício	P13 Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos
	C7 – Acessibilidade	Eficiência da ventilação natural em espaços interiores	P16 Potencial de ventilação natural
		Toxicidade dos materiais de acabamento	P17 Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV
	C8 – Sensibilização e educação para a sustentabilidade	Acessibilidade a amenidades	P22 Índice de acessibilidade a amenidades
	Formação dos ocupantes	P23 Disponibilidade e conteúdo do Manual de Utilizador do Edifício	

O processo de avaliação tradicional iniciar-se-á pela quantificação dos parâmetros com recurso ao “Guia de Avaliação SBTool^{PT-H}”, que apresenta os processos que deverão ser utilizados de forma a quantificar o desempenho do edifício a nível de cada indicador de sustentabilidade. Nesta fase realizar-se-á a análise teórica de cada parâmetro e as medições dos desenhos de projeto de modo a obter as informações necessárias à avaliação, bem como a recolha das restantes informações e elementos do projeto relevantes a cada parâmetro. Posteriormente, serão discriminados e justificados os valores característicos adotados.

A fase seguinte consiste na normalização e agregação dos parâmetros. O objetivo da normalização é evitar os efeitos de escala na agregação de indicadores e resolver o problema de alguns parâmetros serem do tipo “quanto maior é melhor” e outros do tipo “quanto maior é pior”. Este processo utiliza a equação de Diaz-Balteiro, equação (1):

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_i^* - P_{*i}} V_i \quad (1)$$

Em que:

- \bar{P}_i — resultado da normalização do parâmetro i ;
- P_i — resultado da quantificação;
- $P_i^* - P_{*i}$ — *benchmarks* do parâmetro i , representando os níveis de melhor prática e prática convencional, respetivamente.

A normalização, além de tornar adimensional o valor dos parâmetros considerados na avaliação, converte os valores entre a melhor prática e a prática convencional numa escala limitada entre 0 (pior valor) e 1 (melhor valor). Para facilitar a interpretação dos resultados os valores normalizados de cada parâmetro são convertidos numa escala graduada, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Conversão dos parâmetros quantitativos normalizados numa escala qualitativa graduada (Fonte: [45]).

Classificação	Pontuação
A+ (Acima das melhores práticas)	$\bar{P}_i > 1,00$
A	$0,70 < \bar{P}_i \leq 1,00$
B	$0,40 < \bar{P}_i \leq 0,70$
C	$0,10 < \bar{P}_i \leq 0,40$
D (Práticas convencionais)	$0,00 < \bar{P}_i \leq 0,10$
E (Abaixo das práticas convencionais)	$\bar{P}_i \leq 0,00$

A última etapa da metodologia, a avaliação global, calcula o nível de sustentabilidade (NS). O NS é um índice único que representa o desempenho global de sustentabilidade do edifício e é avaliado por meio da equação (2).

$$I_j = \sum_{i=1}^n w_i \times I_i \quad (2)$$

Em que:

- I_j — pontuação de sustentabilidade;
- I_i — desempenho ao nível da dimensão i ;
- w_i — peso da dimensão i

A Tabela 10 apresenta o peso de cada solução sustentável na avaliação do desempenho global.

Tabela 10 - Pesos de cada dimensão da sustentabilidade na metodologia SBTTool^{PT-H} (Fonte: [45]).

Dimensão	Peso (%)
Ambiental	40
Social	30
Económica	30

O desempenho do edifício é medido em relação a cada categoria, dimensão sustentável e pontuação global (nível de sustentabilidade) e é classificado numa escala de “A+” a “E”.

Concluída a avaliação da sustentabilidade pelo método tradicional pretende-se compreender a efetividade deste processo através da recolha dos tempos, esforços e informações requeridas para a sua realização, assim como a identificação das suas restrições, limitações e estudo de possíveis soluções para alcançar a eficiência do mesmo. A análise destes dados irá permitir a posterior comparação com o método de avaliação da sustentabilidade SBTTool^{BIM}.

3.1.2. Método de avaliação da sustentabilidade SBTTool^{BIM}

Seguidamente, a avaliação da sustentabilidade será executada com recurso a BIM, através do SBTTool^{BIM}. Para tal, será desenvolvido um modelo virtual, representativo do caso de estudo em análise. Neste modelo BIM estarão discriminadas as soluções construtivas, os valores característicos necessários, bem como as informações relativas aos detalhes necessários em cada etapa da avaliação da sustentabilidade.

Este estudo irá considerar uma das plataformas mais utilizadas como plataforma de modelação BIM, o *Revit*. Esta plataforma possibilita a modelação paramétrica orientada por objetos ou elementos. A modelação paramétrica define parâmetros que determinam a relação entre todos os elementos de um projeto e permitem a coordenação e gestão de mudanças. Para além disso, o *Revit* permite a importação e exportação de vários tipos de formato, que incluem IFC e *gbXML*, que otimizam a troca de informações e a interoperabilidade entre *softwares*. Por outro lado, possibilita a utilização de linguagem de programação visual (LPV) com recurso às API existentes, como o *DesignBuilder* ou o *Dynamo*, que viabilizam a criação de *interfaces* personalizáveis para a execução e automatização de diversas tarefas do *Revit*. A disponibilidade de diversa informação e vários tutoriais *online* também contribuíram para a seleção do *Revit*.

Tendo em vista o alcance dos objetivos traçados, será utilizada a estrutura de dados SBTTool^{BIM}, automatizada com recursos à programação visual com o *plug-in Dynamo*. O *Dynamo* foi projetado para estender os recursos da modelação paramétrica do *Revit*, adicionando um nível de associatividade que não existe nas aplicações de *software* padrão.

No contexto do grupo de investigação onde o presente trabalho se encontra a ser desenvolvido, encontra-se em execução a automatização da avaliação dos parâmetros SBTTool^{PT-H}, através do desenvolvimento do SBTTool^{BIM}, o qual foi disponibilizado para o presente trabalho. A versão disponibilizada contempla 13 parâmetros e encontra-se dividida em dois ficheiros: (i) criação das propriedades adicionais necessárias à avaliação; e (ii) cálculo do nível de sustentabilidade, através dos *inputs* e das informações do modelo BIM necessárias à realização dos cálculos inerentes à avaliação, bem como, apresenta os resultados obtidos.

De uma forma geral, a avaliação dos parâmetros com recurso a esta aplicação passa pelo preenchimento de toda a informação dos materiais e elementos do projeto relevante para a avaliação da sustentabilidade. Esta informação é posteriormente recolhida e processada pelo SBTTool^{BIM} para a realização da avaliação. No entanto, no caso de parâmetros qualitativos, como o P13 e P23, a sua avaliação passa pela verificação e preenchimento dos conteúdos listados por meio de uma *interface* gerada pela aplicação que, posteriormente, fará a soma de todos os créditos obtidos.

Na fase final desta etapa pretende-se compreender a efetividade do processo através da recolha dos tempos, esforços e informação requeridos para a sua realização, tal como a sequência de tarefas e os passos a seguir em contexto real para a avaliação de cada parâmetro. Para além disso, serão enumeradas as suas restrições e limitações, assim como analisadas possíveis soluções para alcançar a

eficiência do mesmo. A análise destes dados irá permitir a posterior comparação com a metodologia tradicional e tornar possível avaliar a aplicabilidade deste processo BIM na metodologia de avaliação de sustentabilidade SBTTool^{PT-H}.

3.1.3. Análise comparativa entre o método tradicional SBTTool^{PT-H} e o método SBTTool^{BIM}

Concluído o processo de avaliação da sustentabilidade pelo método SBTTool^{PT-H} tradicional e do procedimento SBTTool^{BIM}, será possível realizar a análise comparativa entre os sistemas de avaliação utilizados. Na elaboração desta análise serão consideradas as categorias de sustentabilidade abrangidas, o detalhe da informação necessária, a sequência de tarefas e os passos a adotar para a avaliação de cada parâmetro, de forma a concluir as potencialidades e as limitações de cada método e, assim, estabelecer uma comparação entre os resultados obtidos.

Como resultado espera-se que, tendo em conta as capacidades e restrições do BIM e do SBTTool^{PT-H}, a estrutura de dados BIM seja validada, obtendo uma classe global de sustentabilidade equivalente para ambos os métodos. Desta forma, será verificada a aplicabilidade do BIM na presente metodologia e concluídas as indicações, detalhes do modelo e a sequência de tarefas necessárias a executar. Para além disso serão identificadas as suas limitações e realizadas propostas de correção ou otimização.

3.1.4. Integração dos parâmetros económicos na estrutura SBTTool^{BIM} existente

Por fim, para atingir o último objetivo da presente investigação, será analisado e proposto um método de integração dos parâmetros P24 e P25, da dimensão económica do SBTTool^{PT-H}, na atual estrutura de dados SBTTool^{BIM}, com o objetivo de apoiar a implementação destes parâmetros na avaliação da sustentabilidade com recurso ao BIM e reduzir os potenciais impactos económicos dos edifícios no futuro. Desta forma torna-se importante idealizar sistemas de integração e automatização dos processos de avaliação da sustentabilidade enquadrados num contexto BIM, para que as equipas de projeto consigam, de uma forma simples e célere, identificar e comparar diferentes medidas sustentáveis numa fase inicial do projeto.

A Figura 43 apresenta o processo de integração esquematizado. Numa primeira fase serão identificados os *inputs* e informações necessárias para a caracterização dos parâmetros P24 e P25, de forma a compreender como realizar a integração destes parâmetros na estrutura existente do SBTTool^{BIM}. Seguidamente, será definida a sequência de tarefas e a estrutura do processo de avaliação de cada um destes parâmetros. Este passo irá definir os detalhes do modelo BIM, a necessidade de recorrer a

ferramentas adicionais e de recolher informações externas ao próprio modelo. Para além disso, será proposta uma estrutura para utilização da aplicação BIM no âmbito destes parâmetros e serão descritas as limitações previstas, assim como, as indicações de como obter e agregar a informação através do *Dynamo*. Por fim, será validado o processo de modo a permitir a sua futura integração na estrutura do SBTTool^{BIM}.

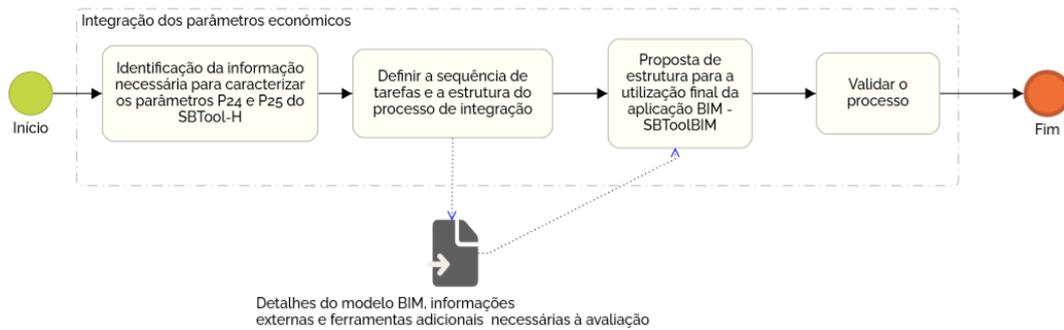


Figura 43 - Integração dos parâmetros económicos na estrutura BIM do SBTTool (Fonte: Elaborada pela autora).

3.2. Caracterização do caso de estudo

A seleção do caso de estudo realizou-se tendo em conta as principais características de um edifício residencial português analisadas anteriormente. Procurou-se definir um edifício-tipo que reúna características e técnicas de construção utilizadas em Portugal, de modo a extrapolar resultados para futuros edifícios residenciais portugueses, o âmbito da aplicação do SBTTool^{PT-H}.

3.2.1. Identificação do edifício

O edifício selecionado trata-se de uma habitação unifamiliar, tipologia T3, de 3 pisos que contém apenas 1 alojamento e destina-se a habitação permanente. A moradia possui duas frentes (norte e sul), representadas na Figura 44. A fachada principal está orientada a sul, não existindo obstáculos que provoquem sombreamento. Esta encontra-se acima da cota de soleira, pelo que, nesta frente apenas são visíveis os dois pisos habitáveis. Para além disso, compreende a porta de entrada principal e uma pequena área de jardim. A fachada a norte encontra-se abaixo da cota de soleira, sendo visíveis o piso da garagem, o rés-do-chão e o 1º andar, além de compreender uma porta de garagem.



Figura 44 - Vista área da habitação em estudo (Fonte: imagens retiradas do Google Maps).

A fração é composta por cave, rés-do-chão e 1º andar sendo a cave constituída pela garagem; o rés-do-chão constituído pela sala, cozinha e instalações sanitárias; e o 1º andar constituído por 3 quartos e instalações sanitárias. Como espaço útil foram considerados todos os compartimentos com ocupação permanente, enquanto como espaços não úteis foi considerada apenas a garagem, conforme a Figura 45.

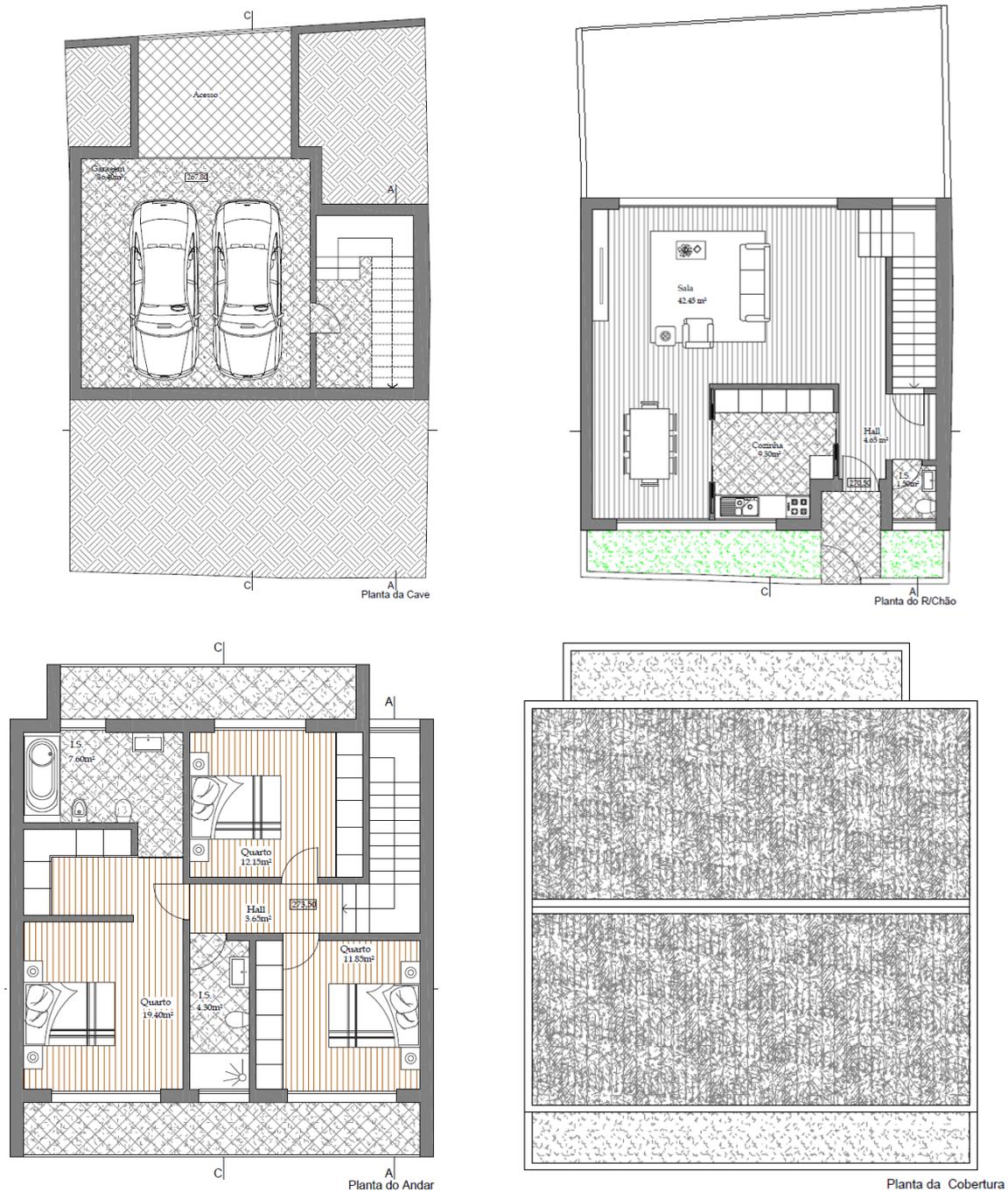


Figura 45 - Plantas da garagem, dos pisos habitacionais e da cobertura (Fonte: Elaborada pela autora).

Previamente à construção desta moradia situava-se um edificado em ruína de uma pequena moradia. A área previamente edificada encontra-se delimitada na Figura 46 a amarelo e cinzento. Desta área construída será reaproveitada a parede lateral assinalada a cinzento sendo que a restante construção, a amarelo, será demolida.

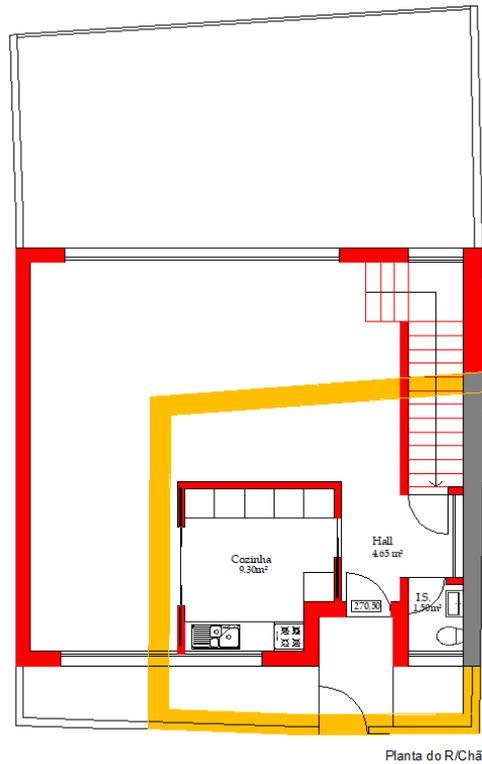


Figura 46 - Área Previamente Edificada (Fonte: Elaborada pela autora).

3.2.2. Localização e acessos

A habitação localiza-se no distrito e concelho de Braga, na periferia de uma zona urbana. Trata-se de um local que, de acordo com o regulamento geral das edificações urbanas, pode ser considerado um local pouco ruidoso no Bairro das Sete Fontes na freguesia de Adaúfe. Segundo o Plano Diretor Municipal (PDM) local, a fração em estudo situa-se no espaço residencial ER5, com o índice de utilização máximo disponível de $0.60 \text{ m}^2/\text{m}^2$ [149], encontra-se a uma altitude de 200.00 m e a distância à costa marítima é superior a 5 km. Em termos de coordenadas geográficas esta compreende uma latitude de 41.573783 e longitude de -8.400489. Na Figura 47 é possível observar a planta cotada do rés-do-chão.

Quanto à acessibilidade a transportes públicos, a moradia está a 30.00 m de uma paragem de autocarro, a 3.50 km da central de camionagem e a 5.20 km estação de comboios. A nível dos grandes acessos rodoviários, a moradia está a 18 minutos da A3.

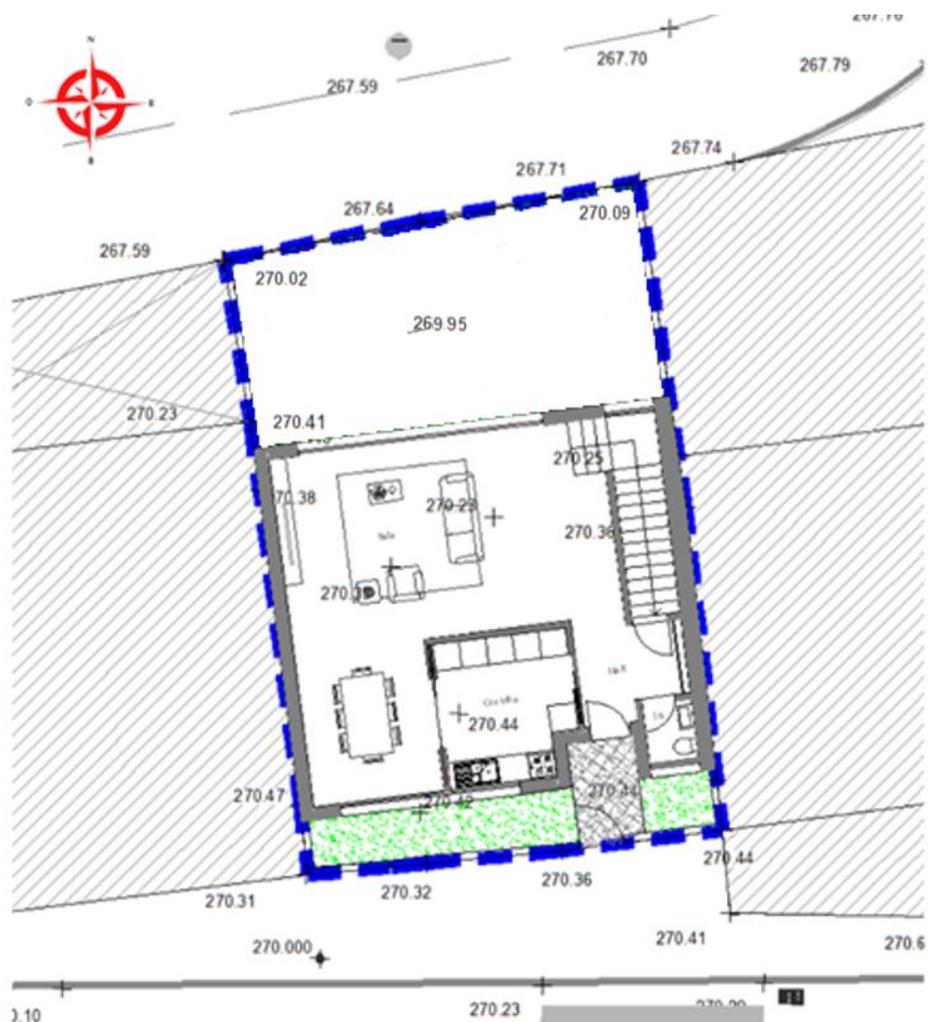


Figura 47 - Planta cotada do rés-do-chão (Fonte: Elaborada pela autora).

O local dispõe de contentores para a colocação de resíduos sólidos devidamente identificados: indiferenciados/orgânicos, papel, vidro e embalagens; e permitem a deposição dos ecopontos domésticos que se encontram no interior do edifício. Estes contentores encontram-se situados a uma distância da porta do edifício de 250.00 m.

3.2.3. Arquitetura e equipamentos

A moradia foi construída de raiz no ano de 2021 e apresenta dimensões pequenas e com áreas mínimas. Um dos maiores cuidados ao nível do projeto foi a sua funcionalidade, conjugando-a com a estética, tornando-se assim num espaço agradável para quem o irá usufruir.

A habitação possui um pé direito de 3.00 m nos pisos superiores e 2.70 m na garagem e totaliza uma área de construção de 229.30 m². Na Tabela 11 observa-se uma síntese das áreas do caso em estudo.

Tabela 11 - Síntese das áreas do caso em estudo (Fonte: Elaborada pela autora).

Áreas	m ²
Área do Terreno	135.20
Implantação	101.70
Área de Construção da Garagem	71.90
Área de Construção da do R/Chão	78.40
Área de Construção do Andar	79.00
Área de Construção total	229.30
Área Bruta de Construção	157.40
Área Verde Total	53.70
Área de Plantas Autóctones	10.30
Área de Cobertura Ajardinada	43.40
Área do Acesso Frontal	3.60

A ventilação é assegurada pelos meios habituais, através de 8 janelas e 2 portas de acesso ao exterior. A percentagem de envidraçados totaliza 25.50% das fachadas do edifício. Quanto aos equipamentos existentes nesta habitação, é possível aferir um fogão e esquentador a gás, um frigorífico, uma máquina de lavar roupa e diversos aparelhos móveis de aquecimento.

3.2.4. Caracterização construtiva

Neste capítulo são apresentadas as soluções construtivas e todos os materiais e características adotadas. Estes, foram definidos principalmente de acordo com as práticas portuguesas correntes. Os elementos descritos incluem paredes exteriores, paredes interiores, cobertura, lajes, janelas, portas e diversos acabamentos. Assim, no que se refere a paredes exteriores estas são compostas por tijolo duplo cerâmico furado com isolamento térmico rígido Poliestireno extrudido (XPS) na caixa de ar. Argamassa e gesso de estuque em ambos os lados, pintura aquosa interior e exterior com baixo COV, conforme a Figura 48. Para além destas temos paredes em contacto com o terreno que são compostas por uma parede de betão armado, betão (C20/25) com 400.00 kg/m³ de ligante (300.00 kg de cimento e 100.00 kg de cinzas volantes), com isolamento térmico rígido XPS e tijolo cerâmico furado. Argamassa e gesso de estuque no interior, pintura aquosa interior CIN NOVÁQUA HD 10-125 com baixo COV, conforme a Figura 49. As paredes interiores são de tijolo cerâmico furado com argamassa e gesso de estuque em ambos os lados e acabamento interior com duas demãos de Tinta CIN CINÁQUA 10-145 aquosa com baixo COV em ambas as faces, conforme a Figura 50.

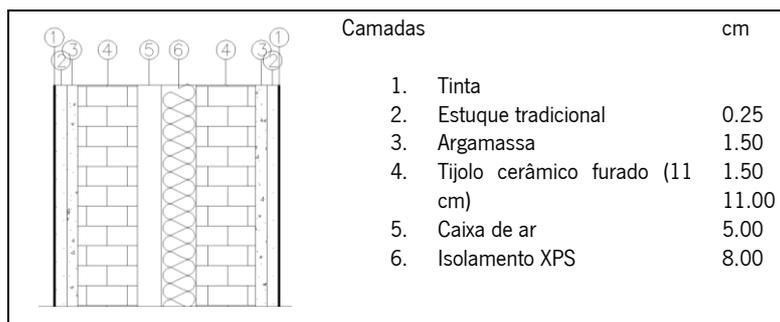


Figura 48 - Paredes exteriores (Fonte: Elaborada pela autora).

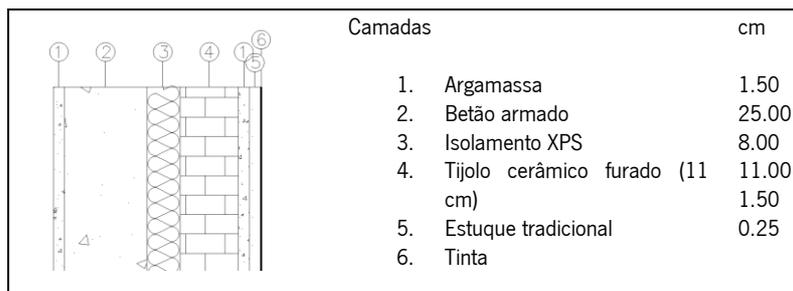


Figura 49 - Paredes exteriores em contacto com o terreno (Fonte: Elaborada pela autora).

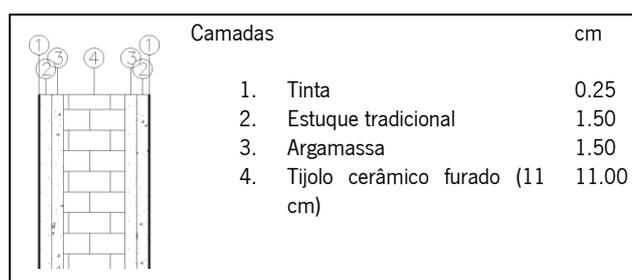


Figura 50 - Paredes interiores (Fonte: Elaborada pela autora).

As lajes são em betão com isolamento térmico interno em lã de rocha reutilizada, uma barreira de vapor de filme de polietileno de baixa densidade (LDPE), argamassa e acabamento em piso cerâmico, flutuante ou soalho. Betão (C20/25) com 400.00 kg/m³ de ligante (300.00 kg de cimento e 100.00 kg de cinzas volantes). Piso de soalho produzido com madeira certificada e envernizado com Esmalte CIN 12-260 AC-THANE SATINADO com alto COV e o pavimento flutuante utilizado será o Pavimento flutuante laminado ARTENS HARMONY DUDUZA INTENSO 8MM AC5 REF 81979478. Os revestimentos da parte superior são tetos falsos em placa de gesso cartonado e isolamento térmico interno em lã de rocha reutilizada, conforme a Figura 51. As lajes do terraço são em betão com isolamento térmico em lã de rocha, uma camada drenante de gravilha, feltro geotêxtil e uma camada de terra e vegetação, conforme a Figura 52.

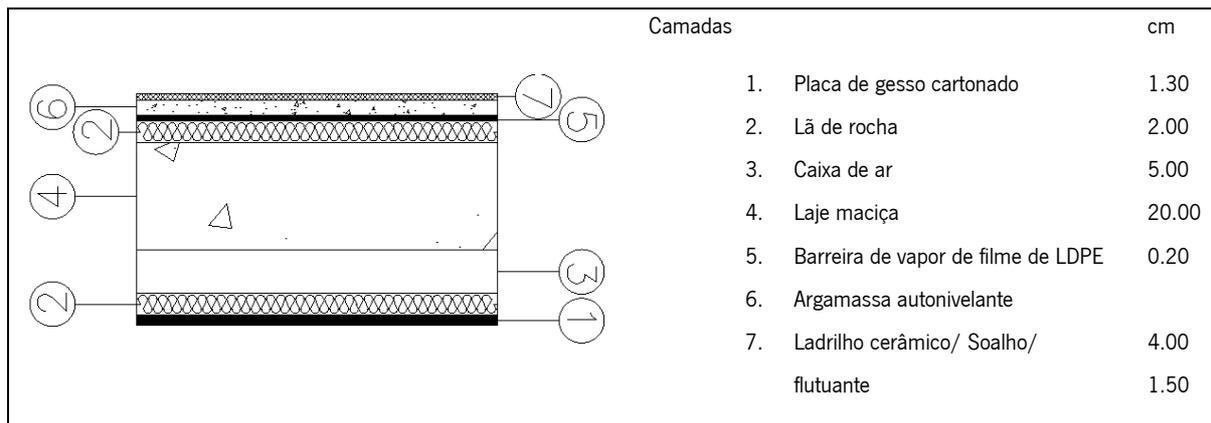


Figura 51 - Lajes (Fonte: Elaborada pela autora).

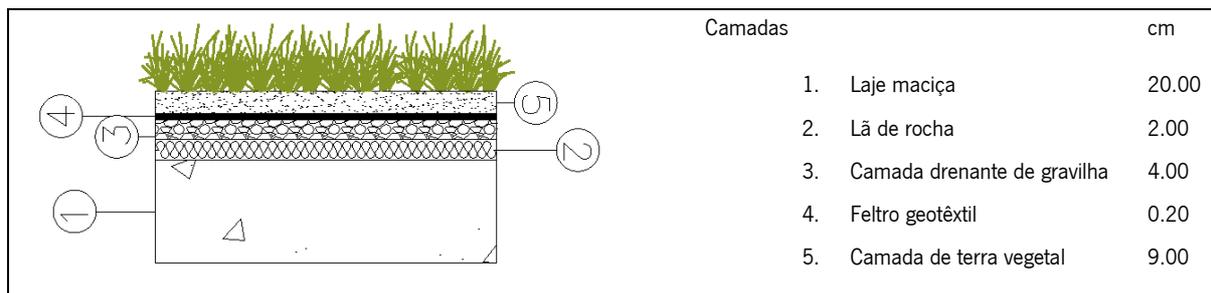


Figura 52 - Laje do terraço (Fonte: Elaborada pela autora).

A cobertura, como se observa Figura 53, compreende uma laje maciça, uma camada de argamassa autonivelante, com isolamento térmico rígido XPS e um painel sandwich em aço galvanizado com acabamento superficial de tinta branca com refletância de 61%, segundo a tabela de valores médios de referência da refletância do “Guia de Avaliação SBTTool^{PT-H}” [45].

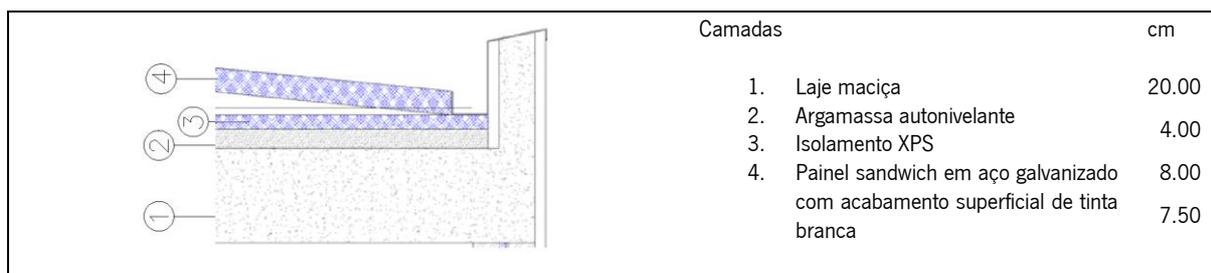


Figura 53 - Cobertura (Fonte: Elaborada pela autora).

Relativamente aos peitoris, soleiras e pavimento exterior, estes serão em granito e pedra, correspondentes aos vãos do projeto. Quanto à carpintaria, o pavimento em piso flutuante será em laminados de madeira não certificada, assim como as portas interiores que serão em apainelados de madeira não certificada. Os rodapés e os pisos em soalho serão em madeira certificada. As caixilharias das portas de giro exteriores e das janelas de correr serão em alumínio com corte térmico.

4. RESULTADOS

A implementação da avaliação de sustentabilidade realizou-se de acordo com o processo descrito no capítulo anterior, com recurso ao “Guia de Avaliação SBTTool^{PT-H}” e à respetiva estrutura de dados SBTTool^{BIM}. De forma a alcançar os objetivos traçados, nos próximos subcapítulos apresentam-se os resultados da presente investigação, organizados do seguinte modo:

- Avaliação tradicional dos parâmetros, P2, P3, P4, P5, P6, P9, P11, P12 e P13 da dimensão ambiental e P16, P17, P22 e P23 da dimensão social;
- Avaliação com SBTTool^{BIM} dos parâmetros P2, P3, P4, P5, P6, P9, P11, P12 e P13 da dimensão ambiental e P16, P17, P22 e P23 da dimensão social;
- Análise comparativa entre os dois processos;
- Proposta de integração dos parâmetros da dimensão económica no SBTTool^{BIM}.

De modo a facilitar a interpretação dos resultados e explanar as características consideradas do caso de estudo, os dados essenciais à avaliação da sustentabilidade encontram-se resumidas na Tabela 12.

Tabela 12 - Dados essenciais à avaliação da sustentabilidade (Fonte: Elaborada pela autora).

Parâmetro	Dados de entrada
P2	Área da parcela – 135.20 m ² Área bruta de construção – 157.40 m ² : Área do rés-do-chão – 78.40 m ² Área do piso 1 – 79.00 m ² Índice Utilização Líquido (IUL _{líq}) – 0.60
P3	Área total da parcela (A _{TOT}) – 135.20 m ² Áreas permeáveis – 10.30 m ² : Gramado frontal – 10.30 m ² Áreas impermeabilizadas (A _{IMP}) – 103.45 m ² : Área do rés-do-chão – 78.40 m ² Acesso frontal – 3.60 m ² 50% da Cobertura ajardinada – 21.45 m ²
P4	Área total de intervenção (A _{INT}) – 135.20 m ² Área previamente edificada contida na área de intervenção (A _{PCO}) – 2.30 m ²
P5	Área verde total (A _{EV}) – 53.20 m ² Área de plantas autóctones (A _{EA}) – 10.30 m ²
P6	Área total da parcela (A _{TOT}) – 135.20 m ² Área com reflectância superior a 60% – 127.00 m ² Área de espaços verdes total (A _{EV}) – 53.20 m ² Painel sandwich aço galvanizado branco (A _{RFL}) – 73,80 m ²
P9	Material reutilizado – Lã de rocha Valor dos materiais que são reutilizados C _{REU} = 960.00 € Valor total do orçamento da construção C _{TOT} = 167 709.58 € Custos dos materiais constituintes das paredes – 110 023.00 €

Custos dos materiais constituintes dos pisos – 47 520.00 €
Custos dos materiais constituintes do telhado – 7 666.58 €
Custos das portas – 1 200.00 €
Custos das janelas – 1 300.00 €

- P11 Custo total de produtos em madeira ou de base orgânica certificados (C_{CER}) – 961.45 €
Custo total dos produtos em madeira ou de base orgânica previsto para a construção (C_{PBO}) – 2923.75 €
- P12 Paredes da garagem:
Altura 2.70 m
Espessura 0.25 m
Comprimento 32.70 m
Lajes:
Espessura 0.20 m
Área do Rés-do-chão 78.40 m²
Área do 1º andar 79.00 m²
Área da cobertura ajardinada 43.40 m²
Área da garagem 71.80 m²
Área da cobertura 73.80 m²
Área da varanda 19.70 m²
Massa total de ligante (M_{LIG}) – 38 117.00 kg
Massa de cinzas volantes (M_{SUB}) – 9 529.30 kg
- P13 Créditos obtidos (P_{RSU}) – 40:
Ecopontos domésticos constituídos por três baldes individuais (papel, vidro e embalagens) de 20L – 30 créditos
O local não é servido por um sistema de recolha porta-a-porta de resíduos sólidos urbanos, mas existe um local público específico para a colocação de resíduos sólidos (indiferenciado/orgânico), papel, vidro e embalagens) a 230 m – 10 créditos
- P16 Segundo o Pré-certificado energético a taxa de renovação nominal mínima de 0.40 renovações por hora.
O edifício recorre apenas a ventilação natural
 $A_{h_{ic}}$ – 42.50 m²
 $A_{h_{tot}}$ – 85.20 m²
Percentagem de área habitável onde é possível ventilação cruzada (P_{AV}) – 50%
Área de aberturas para o exterior – 50.70 m²
Área útil de pavimento – 196.90 m²
Área envidraçada/área útil de pavimento – 25.75%
- P17 Massa de todos os materiais de acabamento suscetíveis de libertar COV – 2581.20 kg:
Tinta das paredes interiores – 561.60 kg
Tinta das paredes exteriores – 421.20 kg
Pavimento flutuante – 502.20 kg
Pavimento em soalho – 1096.20 kg
Massa materiais de acabamento que apresentam baixo conteúdo de COV – 1485.00 kg:
Tinta das paredes interiores – 561.60 kg
Tinta das paredes exteriores – 421.20 kg
Pavimento flutuante – 502.20 kg
- P22 Tipo de zona urbana: zonas não centrais de capital de distrito – zona 2
Distância das amenidades ao edifício – Tabela 15
- P23 Ficha Técnica da Habitação encontra-se disponível
Créditos obtidos (P_{MU}) – 15:
Comunicação das Medidas Adotadas – 15 créditos
-

4.1. Método tradicional de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT-H}

4.1.1. Parâmetro P2 – Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível

O desempenho do edifício ao nível deste parâmetro expressa-se através da Percentagem Utilizada do Índice de Utilização Líquido Disponível (P_{AUL}), que resulta do quociente entre o índice de utilização líquido do edifício (IUL) e o índice máximo disponível (IUL_{max}) segundo o PDM local. O cálculo do índice de utilização líquido é o quociente entre a Área Bruta Total e a Área da Parcela.

Assim, com recurso às áreas requeridas – a área bruta de construção de habitação de 157.40 m², identificada a vermelho na Figura 54, a área da parcela que contém a habitação de 135.20 m², identificada na Figura 55 – e com o valor do (IUL_{max}) correspondente a 0.60 tal como definido no PDM, obteve-se o valor de P_{AUL} pela equação (3):

$$P_{AUL} = \frac{157.40}{\frac{135.20}{0.60}} \times 100 = 194.03\% \quad (3)$$



Figura 54 - Área Bruta Total (Fonte: Elaborada pela autora).

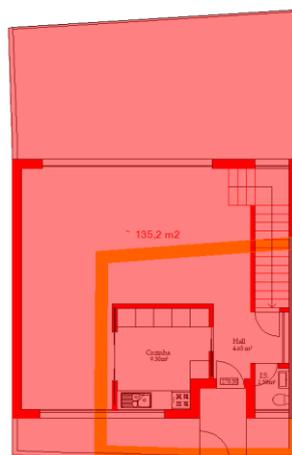


Figura 55 - Área da Parcela (Fonte: Elaborada pela autora).

Finalmente, o valor obtido foi comparado com os *benchmarks*, melhor prática ($P_{AUL} = 90\%$) e prática convencional ($P_{AUL} = 50\%$), utilizando a equação (4). Desta forma, obteve-se o valor normalizado de 3.60, equivalendo assim a uma classe de desempenho “A+”, de acordo com a Tabela 9.

$$\overline{P_{AUL}} = \frac{P_{AUL} - P_{AUL*}}{P_{AUL*} - P_{AUL*}} = \frac{194.03 - 50}{90 - 50} = 3.60 \quad (4)$$

4.1.2. Parâmetro P3 – Índice de impermeabilização

O seguinte parâmetro avaliou-se em função do índice de impermeabilização (P_{IMP}). Este multiplicador urbanístico surge normalmente nos Planos Diretores Municipais para caracterizar a impermeabilidade do terreno e corresponde ao quociente entre a área de impermeabilização (A_{IMP}) e a superfície de referência onde se pretende aplicar de forma homogênea o índice (A_{TOT}). Desta forma, este índice resulta do quociente entre o somatório das áreas do lote ocupadas com edificação e áreas pavimentadas com materiais impermeáveis, pela área de terreno ou superfície de referência da operação urbanística. Neste caso, segundo o “Guia de Avaliação SBTTool^{PT-H}”, considerou-se como área permeável a área ajardinada frontal, que constitui a área de plantas autóctones. Para a área impermeável considerou-se a área edificada, a área de acesso à porta principal e 50% da cobertura ajardinada do terraço, tal como indica o Guia de Avaliação. Desta forma, obtém-se uma A_{IMP} é de 103.45 m², identificada na Figura 56, contra uma área permeável de 10.30 m², identificada na Figura 57. A A_{TOT} é de 135,20 m², tal como se verifica na Figura 55.



Figura 56 - Área impermeável (Fonte: Elaborada pela autora).



Figura 57 - Áreas permeáveis (Fonte: Elaborada pela autora).

Finalmente, calculou-se o (P_{IMP}) pela equação (5) e realizou-se a normalização do valor com os benchmarks, melhor prática ($P_{IMP^*} = 30\%$) e prática convencional ($P_{IMP^*} = 60\%$), equação (6). O parâmetro em análise apresentou um valor normalizado de -0.55, o que lhe atribui uma classe de desempenho “E”

$$P_{IMP} = \frac{103.45}{135.20} \times 100 = 76.52\% \quad (5)$$

$$\overline{P}_{IMP} = \frac{P_{IMP} - P_{IMP^*}}{P_{IMP^*} - P_{IMP^*}} = \frac{77 - 60}{30 - 60} = -0.55 \quad (6)$$

4.1.3. Parâmetro P4 – Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada

O próximo parâmetro avaliou-se através do valor da Percentagem de Área Previamente Edificada (P_{ACE}). Desta forma, determinou-se a área total de intervenção (A_{INT}), 135.20 m², como se observa na Figura 55, assim como a área previamente edificada contida na área de intervenção (A_{PCO}), 2.30 m², identificada a amarelo na Figura 58 e correspondente a uma parede existente que se manteve após a renovação do edifício.

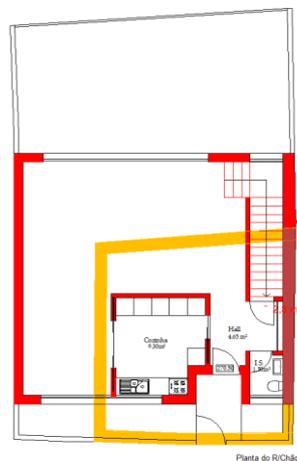


Figura 58 - Área previamente edificada (Fonte: Elaborada pela autora).

Finalmente, calculou-se a P_{ACE} pela equação (5) e realizou-se a normalização com base nos *benchmarks*: melhor prática ($P_{ACE^*} = 90\%$) e prática convencional ($P_{ACE^*} = 0\%$), através da equação (6). Assim, obteve-se o valor normalizado de 0.02 e a classificação de desempenho de “D”.

$$P_{ACE} = \frac{2.30}{135.20} \times 100 = 1.70\% \quad (5)$$

$$\overline{P}_{ACE} = \frac{P_{ACE} - P_{ACE^*}}{P_{ACE^*} - P_{ACE^*}} = \frac{1.70 - 0}{90 - 0} = 0.02 \quad (6)$$

4.1.4. Parâmetro P5 – Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones

Este parâmetro foi avaliado através do valor da Percentagem de Áreas Verdes Ocupadas por Plantas Autóctones (P_{AUT}), equação (7), que resulta do quociente entre a área verde destinada a plantas autóctones (A_{EA}), 10.30 m², identificada na Figura 59, pela a área verde total (A_{EV}), 53.20 m², correspondente ao jardim frontal e à cobertura ajardinada, tal como se verifica na Figura 60.

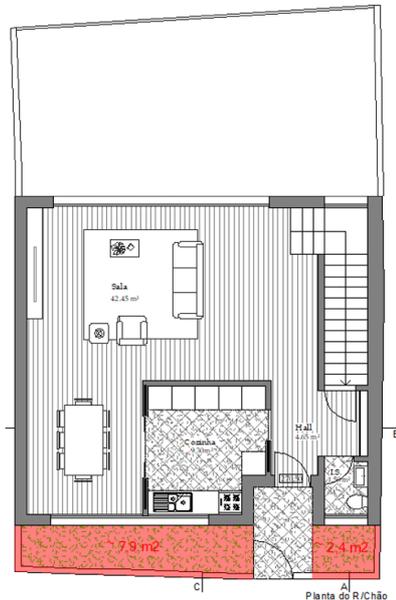


Figura 59 - Planta representativa da área de plantas autóctones (Fonte: Elaborada pela autora).

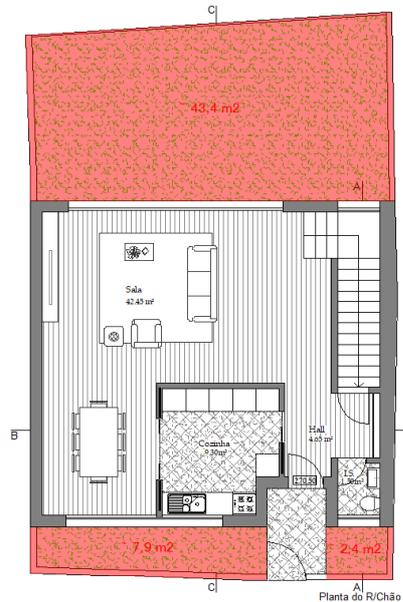


Figura 60 - Planta representativa da área verde total (Fonte: Elaborada pela autora).

Assim, calculou-se o (P_{AUT}) pela equação (7) e realizou-se a normalização com base nos *benchmarks*, melhor prática ($P_{AUT} = 90\%$) e prática convencional ($P_{AUT} = 30\%$). Obteve-se o valor normalizado de -0.18 como se apresenta na equação (8), que corresponde a uma classe de desempenho “E”.

$$P_{AUT} = \frac{10.30}{53.20} \times 100 = 19.36\% \quad (7)$$

$$\frac{P_{AUT}}{P_{AUT*}} = \frac{P_{AUT} - P_{AUT*}}{P_{AUT*} - P_{AUT*}} = \frac{19.36 - 30}{90 - 30} = -0.18 \quad (8)$$

4.1.5. Parâmetro P6 – Percentagem da área em planta com refletância igual ou superior a 60%

O desempenho do edifício ao nível deste parâmetro avaliou-se através do valor da Percentagem da Área em Planta com Refletância Igual ou Superior a 60% (P_{REFL}). Este valor resultou do quociente entre o somatório das áreas de espaços verdes do edifício em projeção horizontal (A_{EV}), 53.20 m², segundo a Figura 60, com a área da cobertura em projeção horizontal com refletância superior a 60% (A_{REFL}), 73.80 m², segundo a Figura 61, divididos pela área total da parcela do terreno em projeção horizontal (A_{TOT}), 135.20 m², conforme a Figura 55.

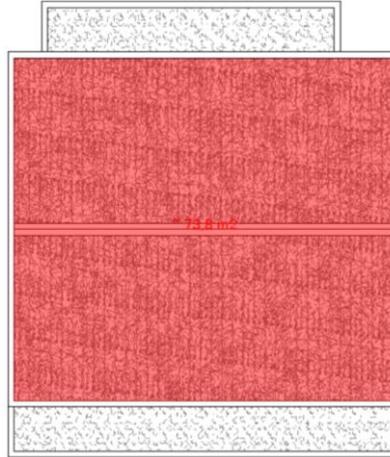


Figura 61 - Planta da cobertura (Fonte: Elaborada pela autora).

Após a determinação da (P_{RFL}), através da equação (9), realizou-se a normalização com base nos *benchmarks*, melhor prática ($P_{RFL^*} = 90\%$) e prática convencional ($P_{RFL^*} = 40\%$), e obteve-se um valor normalizado de 1.09, equação (10), que corresponde a uma classe de desempenho “A+”.

$$P_{RFL} = \frac{73.80 + 53.70}{135.20} \times 100 = 94.30\% \quad (9)$$

$$\overline{P_{RFL}} = \frac{P_{RFL} - P_{RFL^*}}{P_{RFL^*} - P_{RFL^*}} = \frac{94.00 - 40}{90 - 40} = 1.09 \quad (10)$$

4.1.6. Parâmetro P9 – Percentagem em custo de materiais reutilizados

A avaliação do seguinte parâmetro realiza-se através do valor da Percentagem em Custo de Materiais Reutilizados (P_{CREU}), que resulta do quociente entre o valor dos materiais que são reutilizados (C_{REU}) e o valor total do orçamento da construção (C_{TOT}). O parâmetro analisa a reutilização de materiais provenientes de outros edifícios, evitando assim mais gastos energéticos e emissões de gases poluentes aquando a produção dos materiais de construção. Estes valores foram obtidos conforme o gerador de preços para construção civil do *software* da *Cype* e conforme o documento de estimativa orçamental que utiliza o volume referente a cada piso e os preços correntes da região, respetivamente. Neste caso o material reutilizado compreende o isolamento térmico lã de rocha, que se encontra aplicado nas lajes e tetos falsos. Assim o volume da lã de rocha totaliza 24.00 m³ e o seu custo é de 40 €/m³, logo, obtém-se $C_{REU} = 960.00$ €. O valor total do orçamento da construção é obtido pelo orçamento dos materiais de construção $C_{TOT} = 167\,709.58$ €.

Após a determinação da P_{CREU} pela equação (11), realizou-se a sua normalização com base nos *benchmarks*, melhor prática ($P_{CREU*} = 15\%$) e prática convencional ($P_{CREU*} = 0\%$). Assim obteve-se o valor de 0.04, equação (12), correspondente a uma classe de desempenho “D”.

$$P_{CREU} = \frac{960.00}{167\,709.58} \times 100 = 0.57\% \quad (11)$$

$$\overline{P}_{CREU} = \frac{P_{CREU} - P_{CREU*}}{P_{CREU*} - P_{CREU*}} = \frac{0.57 - 0}{15 - 0} = 0.04 \quad (12)$$

4.1.7. Parâmetro P11 – Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados

O parâmetro P11 analisa a utilização de materiais certificados com rótulos ecológicos. O desempenho do edifício ao nível deste parâmetro avalia-se através do valor da Percentagem em Custo de Produtos de Base Orgânica Certificados (P_{CER}), que resulta do quociente custo total de produtos em madeira ou de base orgânica certificados (C_{CER}) e o custo total dos produtos de madeira ou de base orgânica previsto para a construção (C_{PBO}). Neste caso, iniciou-se pela listagem dos elementos em madeira ou de base orgânica existentes, a sua identificação como material certificado e a determinação dos seus custos, Tabela 13.

Tabela 13 - Listagem dos elementos em madeira ou de base orgânica (Fonte: Elaborada pela autora).

Elementos estruturais em madeira	Certificação	Custos
Portas	SC*	1200.00 €
Rodapés	FSC	210.86 €
Revestimentos de pavimento em soalho	FSC	1616.48 €
Revestimentos de pavimento em flutuante	SC*	1230.65 €
* SC – sem certificação		4257.99 €

Seguidamente, fez-se o cálculo do valor de P_{CER} de modo a obter o desempenho do edifício neste parâmetro, através da equação (15).

$$P_{CER} = \frac{1827.34}{4257.99} \times 100 = 42.92\% \quad (15)$$

O valor da normalização de P_{CER} com base nos *benchmarks*, melhor prática ($P_{CER*} = 5\%$) e prática convencional ($P_{CER*} = 0\%$), é de 8.58, tal como se verifica na equação (16) que corresponde a uma classe de desempenho “A+”.

$$\overline{P}_{CER} = \frac{P_{CER} - P_{CER*}}{P_{CER*} - P_{CER*}} = \frac{42.92 - 0}{5 - 0} = 8.58 \quad (16)$$

4.1.8. Parâmetro P12 – Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão

O próximo parâmetro avaliou-se através do valor da Percentagem em Massa de Produtos Substitutos do Cimento no Betão (P_{SUB}), que resulta do quociente entre a massa total de ligantes utilizados no fabrico de betões (M_{LIG}) e massa de ligantes substitutos do cimento utilizados no fabrico do betão (M_{SUB}). Neste caso, foram apenas considerados os elementos estruturais lajes e muros de betão, de forma a ser possível realizar uma comparação com o método SBTTool^{BIM} que apenas considera estes elementos. Assim, as lajes e as paredes da garagem foram executadas em betão com a quantidade de ligante de 400.00 kg/m³, em que 300.00 kg/m³ são cimento e 100.00 kg/m³ são cinzas volantes. Assim, o volume de betão utilizado foi calculado com recuso aos dados da Tabela 12: $(0.25 \times 32.70 \times 2.70) = 22.07$ m³ para as paredes da garagem e $(0.20 \times (78.40 + 79.00 + 43.40 + 71.80 + 73.80 + 19.70)) = 73.22$ m³ para as lajes, perfazendo um total de 95.29 m³ de betão. Este valor corresponde a 38 117.00 kg de massa total de ligante, (M_{LIG}), e 9 529.30 kg de cinzas volantes (M_{SUB}). Assim, pela equação (13) resulta o valor de $P_{SUB} = 25\%$. Neste caso, o valor da normalização de P_{SUB} com base nos *benchmarks*, melhor prática ($P_{AUT} = 30\%$) e prática convencional ($P_{AUT} = 0\%$), é de 0.83, equação (14), que corresponde a uma classe de desempenho “A”.

$$P_{SUB} = \frac{9529.30}{38\ 117.00} \times 100 = 25.00\% \quad (13)$$

$$\overline{P_{SUB}} = \frac{P_{SUB} - P_{SUB*}}{P_{SUB*} - P_{SUB*}} = \frac{25.00 - 0}{30 - 0} = 0.83 \quad (14)$$

4.1.9. Parâmetro P13 – Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos

O desempenho do edifício ao nível deste parâmetro avaliou-se através do valor do Potencial das Condições do edifício para a Promoção da Separação de Resíduos Sólidos (P_{RSU}), que resulta do somatório de uma pontuação obtida através da satisfação de uma série de critérios relacionados com as condições interiores e exteriores existentes para a deposição e armazenagem dos resíduos domésticos, tal como referido no Guia de Avaliação [45]. No que diz respeito às condições no interior do edifício, as características adotadas encontram-se na Tabela 12, bem como as condições locais exteriores, que foram identificados com recurso à ferramenta de pesquisa e visualização de mapas, *Google Maps*. Desta forma, realizou-se o preenchimento da *checklist*. O primeiro ponto é referente à existência de locais no interior adequados à deposição de resíduos recicláveis (ecopontos domésticos). Neste caso, como estão apenas previstos a colocação de ecopontos domésticos constituídos por três baldes individuais (papel,

vidro e embalagens) de 20L obtém-se o valor de 30 créditos. O ponto seguinte questiona a existência de um serviço público de recolha de resíduos recicláveis e ecopontos. Neste contexto, o local em estudo compreende um local público específico para a colocação de resíduos sólidos (indiferenciado/orgânico, papel, vidro e embalagens) a 230.00 m. O ponto seguinte questiona se o local é servido por um sistema público de recolha de resíduos recicláveis, ecopontos ou sistema de recolha porta-a-porta. Neste caso, o local não é servido por um sistema de recolha porta-a-porta de resíduos sólidos urbanos, mas existe um local de ecopontos como descrito anteriormente, o que equivale a 10 créditos. Assim, o valor do Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos obtido foi 40. Finalmente, procedeu-se à normalização com base nos *benchmarks*, melhor prática ($P_{RSU} = 50$) e prática convencional ($P_{RSU} = 10$), obtendo-se um valor normalizado de 0.75, equação (15), que representa uma classe de desempenho “A”.

$$\overline{P_{RSU}} = \frac{P_{RSU} - P_{RSU*}}{P_{RSU*} - P_{RSU*}} = \frac{40 - 10}{50 - 10} = 0.75 \quad (15)$$

4.1.10. Parâmetro P16 – Potencial de Ventilação Natural

Assim como no parâmetro anterior, o seguinte parâmetro resulta do somatório de uma pontuação que é obtida através da satisfação de uma série de critérios que maximizam a eficácia da ventilação natural, o Potencial de Ventilação Natural (P_{vn}). Para tal, foi necessário o cumprimento do primeiro ponto, o pré-requisito legal, em que todos os espaços habitáveis do edifício obedecem à taxa de renovação nominal mínima de 0.40 renovações por hora prevista no REH. Este comprova-se com recurso ao Pré-certificado energético. O segundo ponto está relacionado com o tipo de ventilação existente, sendo esta apenas ventilação natural, o que equivale a 10 créditos. No ponto seguinte certifica-se que o edifício apresenta espaços habitáveis onde não é possível ventilação cruzada e num ou mais desses espaços não é cumprido pelo menos um dos aspetos de conceção que potenciam a ventilação natural unilateral. Este ponto não é satisfeito, uma vez que todos os espaços habitáveis onde não é possível a ventilação cruzada, cumprem os aspetos de conceção que potenciam a ventilação natural unilateral. Para além disso, obtém-se o valor de percentagem de área habitável onde é possível a ventilação cruzada (P_{Ah}) que resulta do quociente entre Ah_{vc} e Ah_{tot} . O primeiro apresenta o valor de 42.50 m² e representam a área de todos os compartimentos habitáveis que podem ser atravessados por uma corrente de ar que circula entre duas fachadas paralelas, com comprimento até 5 vezes o pé-direito livre, e a área de todos os compartimentos habitáveis com aberturas para o exterior em pelo menos duas fachadas contíguas que apresentem dimensões em planta inferiores a 4.50 m x 4.50 m, conforme a Figura 62. O segundo apresenta o valor

de 85.20 m² e representa a área habitável total, conforme a Figura 63. Assim, obtém-se o valor de 50% de ventilação cruzada o que equivale a 30 créditos.

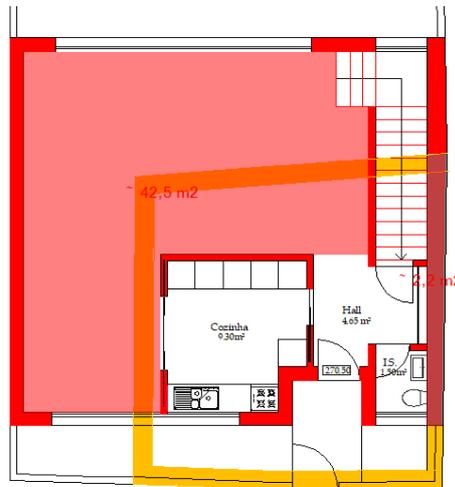


Figura 62 - Área habitável onde é possível a ventilação cruzada (Fonte: Elaborada pela autora).



Figura 63 - Área habitável total (Fonte: Elaborada pela autora).

O seguinte ponto a verificar refere-se à área de aberturas para o exterior relativamente à área útil de pavimento. Neste obteve-se o valor de 196.90 m² para a área útil de pavimento, conforme a Figura 64, e 50.70 m² para a área de aberturas para o exterior, conforme a Figura 65, que resulta no valor de 25.75% de área envidraçada/área útil de pavimento, o que equivale a 20 créditos.



Figura 64 - Área útil de pavimento (Fonte: Elaborada pela autora).

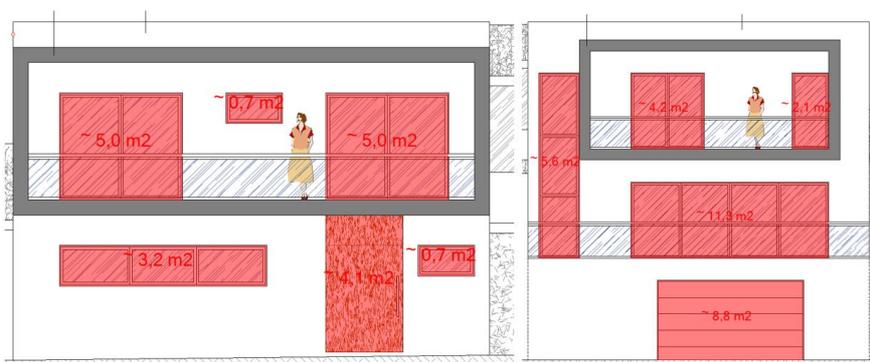


Figura 65 - Área de aberturas para o exterior (Fonte: Elaborada pela autora).

Finalmente, o último ponto refere-se ao tipo de caixilharias utilizadas nos vãos. Consta-se que este não se verifica, uma vez que os espaços habitáveis não apresentam grelhas de ventilação incorporadas na caixilharia ou janelas ou portas oscilo-batentes.

Concluído o preenchimento da tabela, obteve-se o valor do P_{VN} igual a 60 créditos. Assim, procedeu-se à normalização com base nos *benchmarks*, melhor prática ($P_{VN^*} = 60$) e prática convencional ($P_{VN^*} = 30$), e obteve-se um valor normalizado de 1.00, equação (16), que corresponde a uma classe de desempenho “A”.

$$\overline{P_{VN}} = \frac{P_{VN} - P_{VN^*}}{P_{VN^*} - P_{VN^*}} = \frac{60 - 30}{60 - 30} = 1.00 \quad (16)$$

4.1.11. Parâmetro P17 – Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

O desempenho do edifício no que respeita à toxicidade dos materiais de acabamento foi avaliado através da Percentagem em Peso de Materiais de Acabamento com Baixo Conteúdo de COV (P_{COV}), que resulta do quociente entre a quantidade (em massa) de materiais de revestimento que foram seleccionados pela

equipa de projeto por terem baixo conteúdo de COV e a quantidade (em massa) total de materiais que contêm esses compostos. De acordo com o projeto do edifício, os seguintes materiais são apresentados como produtos de acabamentos:

- Tinta CIN CINÁQUA 10-145;
- Tinta CIN NOVÁQUA HD 10-125;
- Soalho compósitos multicamada;
- Pavimento flutuante laminado ARTENS HARMONY DUDUZA INTENSO 8MM AC5 REF 81979478.

Conforme as especificações técnicas dos fabricantes, todos os produtos, exceto o soalho, apresentam uma emissividade de compostos orgânicos voláteis inferior a 100.00 g/L [150], estando este valor contemplado no valor máximo de emissividade imposto por lei. Assim, calculou-se a massa de todos os materiais de acabamento suscetíveis de libertar COV (M_{TOT}), considerando que na aplicação da tinta são necessárias duas demãos. Logo a $M_{TOT} = 982.80$ kg de tinta + 1 096.20 kg de soalho + 502.20 kg de flutuante = 2 581.20 kg de materiais suscetíveis de libertar compostos orgânicos voláteis. Relativamente aos materiais de acabamento que apresentam baixo conteúdo de COV $M_{COV} = 982.80$ kg de tinta + 1 096.20 kg de flutuante = 1 485.00 kg, Tabela 14.

Tabela 14 - Dados referentes aos materiais de revestimento (Fonte: Elaborada pela autora).

	m²	Densidade (Kg/L)	Kg
Tinta Paredes interiores	480	1.17	561.60
Tinta Paredes exteriores	360	1.17	421.20
Soalho	62	8.10	1096.20
Pavimento flutuante	58	18.90	502.20

Com estes valores calculou-se a Percentagem em Peso de Materiais de Acabamento com Baixo Conteúdo de COV (P_{COV}) através da equação (21), seguindo-se a normalização com base nos *benchmarks*, melhor prática ($P_{COV^*} = 90\%$) e prática convencional ($P_{COV^*} = 0\%$), na qual se obteve o valor de 0.64, equação (22). Segundo a escala de classificação SBTTool^{PT-H}, Tabela 9, corresponde a uma classe de desempenho “B”.

$$P_{COV} = \frac{1485.00}{2581.20} \times 100 = 57.53\% \quad (21)$$

$$\overline{P_{COV}} = \frac{P_{COV} - P_{COV^*}}{P_{COV^*} - P_{COV^*}} = \frac{57.53 - 0}{90 - 0} = 0.64 \quad (22)$$

4.1.12. Parâmetro P22 – Índice de acessibilidade a amenidades

De forma a obter a classificação do seguinte parâmetro, definem-se por amenidades os equipamentos públicos e privados e estabelecimentos comerciais e de serviços que servem de suporte às necessidades do dia-a-dia dos ocupantes do edifício e contribuem para o seu bem-estar. Assim, calculou-se o Índice de Acessibilidade a Amenidades (P_{AA}), que depende do número e tipo de amenidades existentes e da respetiva distância à entrada principal do edifício. Para tal, foi necessário identificar quais as distâncias das amenidades à porta do edifício, Tabela 15.

Tabela 15 - Distâncias das amenidades à porta do edifício (Fonte: Elaborado pela autora).

Classe 1	(m)	Classe 2	(m)	Classe 3	(m)
Ponto de recolha de resíduos	230	Talho	2000	Ginásio	1000
Ecopontos	230	Farmácia	2300	Restaurante	250
Mercearia	1400	Banco	2300	Bombeiros	4200
Padaria	500	Zona serviços/industrial/comércio	2300	Associação Recreativa	200
Espaços Exteriores Públicos	1800	Centro Médico/	2100	Local de Oração	200
		Café	120	Marco de Correios	2300
		Jardim Infantil	250	Ciclovia	3000
		Escola Primária	3200	Esquadra de Polícia	3800
		Escola Secundária	2600	Estação de Correios	2300
				Centro Comercial	2300

Com recurso ao serviço de pesquisa e visualização de mapas do *Google Maps* foram identificadas as distâncias do edifício às amenidades e atribuíram-se créditos de acordo com a sua classe, Tabela 16. A soma dos créditos de todas as classes resultou no valor do P_{AA} de 68, Tabela 16.

Tabela 16 - Créditos a atribuir a cada amenidade de acordo com a respetiva classe e distancia à porta principal do edifício (Fonte: [45]).

CLASSE 1		CLASSE 2		CLASSE 3	
Identificação		Identificação		Identificação	
Ponto de recolha de resíduos	10	Talho	1	Ginásio	2
Ecopontos	10	Farmácia	1	Restaurante	4
Mercearia	3	Banco	1	Bombeiros	0
Padaria	9	Zona serviços/industrial/comércio	1	Associação Recreativa	4
Espaços Exteriores Públicos	1	Centro Médico/	1	Local de Oração	4
		Café	8	Marco de Correios	0
		Jardim Infantil	8	Ciclovia	0
		Escola Primária	0	Esquadra de Polícia	0
		Escola Secundária	0	Estação de Correios	0
				Centro Comercial	0
Total P_{AA}	68				

De seguida, procedeu-se à normalização com base nos *benchmarks* obtidos através da verificação do tipo de zona urbana do edifício (zona 2), zona não central de capital de distrito. Assim, os *benchmarks*

apresentam o valor de melhor prática ($P_{AA} = 134$) e de prática convencional ($P_{AA^*} = 122$), que com recurso à equação (23) resultou no valor normalizado de -4.50, correspondendo a uma classe de desempenho “E”.

$$\overline{P_{AA}} = \frac{P_{AA} - P_{AA^*}}{P_{AA^*} - P_{AA^*}} = \frac{68 - 122}{134 - 122} = -4.50 \quad (23)$$

4.1.13. Parâmetro P23 – Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício

O desempenho do edifício no contexto deste parâmetro é avaliado através do índice (P_{MU}), cujo valor depende da disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício. O valor de P_{MU} do edifício é calculado somando os créditos obtidos aquando do preenchimento de uma *checklist*. Este parâmetro apresenta um pré-requisito que está relacionado com a obrigatoriedade de existir a Ficha Técnica da Habitação. Desta forma, efetuou-se o preenchimento da tabela, que apresentou o valor final de 15 créditos, uma vez que a Ficha Técnica da Habitação apenas apresenta a comunicação das medidas de projeto adotadas de forma a melhorar a sustentabilidade do edifício. Finalmente, realizou-se a normalização do valor com base nos *benchmarks*, melhor prática ($P_{MU} = 75$) e prática convencional ($P_{MU} = 15$) e pela equação (24) obteve-se um valor normalizado de 0.00 possuindo assim uma classe de desempenho “D”.

$$\overline{P_{CCV}} = \frac{15 - 15}{75 - 15} = 0.00 \quad (24)$$

4.1.14. Resultados obtidos na classificação tradicional SBTTool^{PT-H}

Os resultados ao nível de cada parâmetro da sustentabilidade obtidos pela avaliação da sustentabilidade executada pelo método tradicional, são apresentados na Tabela 17. Analisando os resultados obtidos é possível verificar que todas as categorias, exceto três, possuem uma nota de desempenho igual ou superior à prática convencional. Este resultado vai de encontro à tipologia residencial dos edifícios portugueses e às suas práticas convencionais. Assim, apenas o parâmetro P3, P5 e P22 apresentam uma classificação inferior à prática convencional. Nestes parâmetros a solução do valor normalizado é negativo, o que justifica a classificação obtida. Em compensação o parâmetro P2, P6, P11, P12, P13, P16 e P17 apresentam uma classificação acima das práticas convencionais. No caso do P2, P6 e P11 os valores obtidos para a solução são muito superiores ao *benchmark* de melhores práticas. Em P12, P13, P16 e P17 os valores obtidos para a solução são muito superiores ao *benchmark* de práticas

convencionais e pouco inferiores ao *benchmark* de melhores práticas. Os restantes parâmetros, P4, P9 e P23, apresentam a classificação idêntica à prática convencional.

Tabela 17 - Resultados obtidos com o SBT^{PT-H} para cada parâmetro da sustentabilidade (Fonte: Elaborada pela autora).

Dimensão	Categoria		Desempenho (valor qualitativo)
Ambiental	C2	P2	A+
		P3	E
		P4	D
		P5	E
		P6	A+
	C4	P9	D
		P11	A+
		P12	A
		P13	A
		P16	A
Social	C6	P17	B
		P22	E
	C8	P23	D

4.2. Método de avaliação da sustentabilidade com recurso a SBTTool^{BIM}

4.2.1. Modelação no *Revit*

A avaliação com recurso ao SBTTool^{BIM}, requer o desenvolvimento de um modelo virtual para o caso de estudo, cuja execução se deu com recurso ao *software* Autodesk *Revit* 2021. O processo de modelação iniciou-se pela escolha de um template arquitetónico, tal como se apresenta na Figura 72, embora a seleção do template não influencie a utilização da aplicação. De seguida, foram introduzidas as plantas de arquitetura do edifício que serviram de referência para a conceção do modelo 3D, conferindo maior rigor à sua criação.

Para a realização do modelo virtual foi necessário a criação e seleção dos elementos do modelo. Estes, representam todos os elementos de uma edificação como janelas, portas, paredes, lajes, etc. Assim, o *Revit* considera os elementos como objetos individuais e agrupa-os por famílias de componentes ou famílias do sistema. No âmbito da presente dissertação foram criadas e modificadas diversas famílias, atribuindo-lhes os respetivos materiais e propriedades geométricas. Para isso recorreu-se à biblioteca de objetos do *Revit*, bem como a diversas bibliotecas de objetos *online*, descarregando famílias adequadas ao caso de estudo. Assim, a modelação dos elementos construtivos foi realizada com base na arquitetura e posteriormente ajustada às necessidades da metodologia de avaliação SBTTool^{BIM}. Para tal, utilizou-se a primeira parte da aplicação SBTTool^{BIM} que cria as propriedades adicionais necessárias à avaliação de cada parâmetro da sustentabilidade. A lista destes parâmetros personalizados e as suas características são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Parâmetros Compartilhados criados no Revit (Fonte: Elaborada pela autora).

Parâmetro	Nome	Tipo	Categoria
P2	Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível	Número	Project Information
P3	Índice de impermeabilização	Sim/Não	Topography
P4	Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada	Área	Project Information
P5	Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones	Sim/Não	Topography
P6	Percentagem da área em planta com reflectância igual ou superior a 60%	Sim/Não	Topography
P9	Percentagem em custo de materiais Reutilizados	Sim/Não	Materials
P11	Percentagem em custo de produtos em madeira ou de base orgânica que são certificados	Sim/Não	Materials
P12	Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão e massa total de ligantes utilizados no fabrico de betões	Número	Materials
P13	Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	Sim/Não	Project Information
P16	Potencial de Ventilação Natural	Sim/Não	Rooms
P17	Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV	Sim/Não	Materials
P22	Índice de acessibilidade a amenidades	Sim/Não, Texto	Interface
P23	Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício	Sim/Não	Interface

Estabelecidas as bases para a modelação, procedeu-se à conceção do modelo pela colocação de elementos como paredes exteriores, laje maciça e portão, com tipologia específica ao piso da garagem, como se observa na Figura 66. Para além disso, criaram-se paredes interiores que foram posteriormente aplicadas nos restantes pisos.

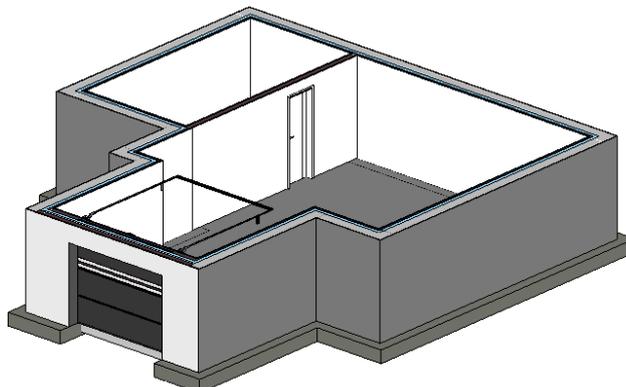


Figura 66 - Arquitetura da garagem (Fonte: Elaborada pela autora).

Os pisos seguintes, o rés-do-chão, segundo a Figura 67, e o primeiro andar, segundo a Figura 68, foram modelados pela criação e seleção dos elementos: paredes exteriores, laje maciça, janelas e portas. Os pavimentos das diversas divisões variam entre soalho, pavimento flutuante e tijoleira. Para além disso, as instalações sanitárias e a cozinha estão equipadas com mobília, rodapés em madeira e cerâmicos. As zonas verdes frontais foram criadas na categoria topografia, como plantas autóctones. Relativamente à zona verde traseira, esta compreende uma solução de cobertura ajardinada constituída por uma laje maciça e uma topografia de material relva.

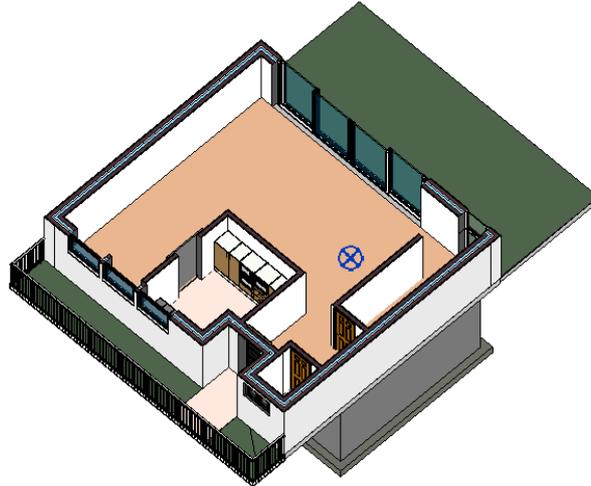


Figura 67 - Arquitetura do Rés-do-chão (Fonte: Elaborada pela autora).

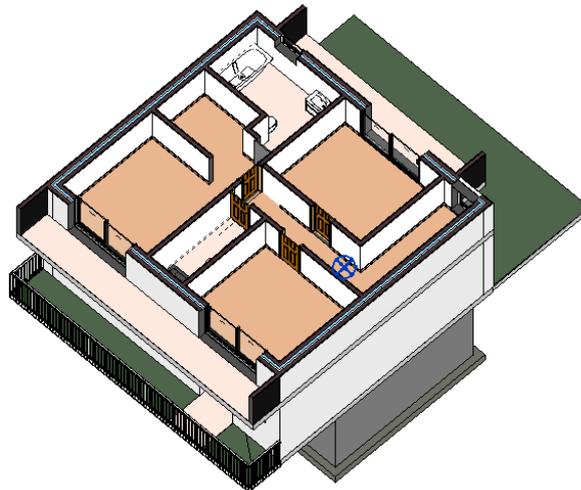


Figura 68 - Arquitetura do Piso 1 (Fonte: Elaborada pela autora).

Numa fase final foi modelada a cobertura inclinada, na categoria *roofs*, composta por uma platibanda e uma solução de painel *sandwich* metálico, conforme a Figura 69.

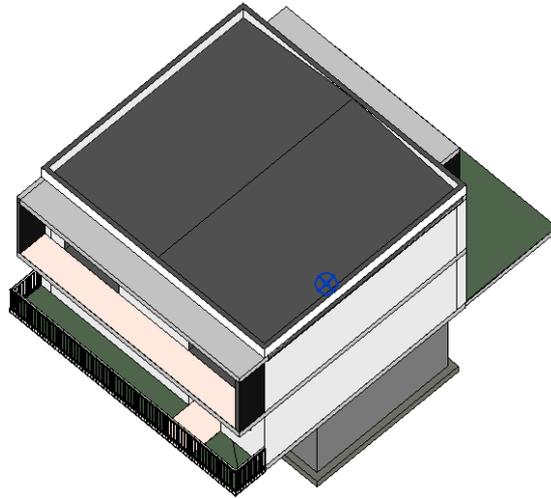


Figura 69 - Cobertura (Fonte: Elaborada pela autora).

Após a modelação arquitetónica do edifício aplicaram-se as texturas e materiais apropriados aos elementos, fornecendo ao modelo um aspeto semelhante ao real, como se observa na Figura 70. Cada material utilizado neste processo foi devidamente caracterizado com as propriedades necessárias à avaliação de cada parâmetro da sustentabilidade.

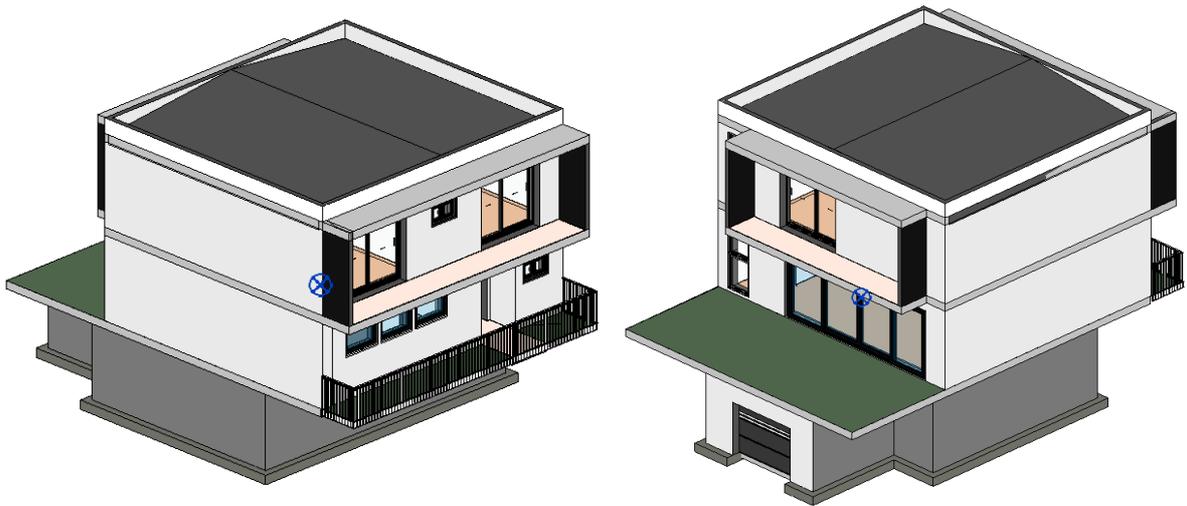


Figura 70 - Modelo Revit do caso de estudo (Fonte: Elaborada pela autora).

No caso dos parâmetros P2 ao P6 foi necessária a criação de diferentes topografias referentes às áreas fundamentais à sua avaliação. Desta forma, a Figura 71 representa as áreas referentes às áreas ajardinadas, acesso exterior e área do edificado. A sua soma representa a totalidade da área de intervenção. Este processo será pormenorizado e descrito mais à frente neste capítulo.

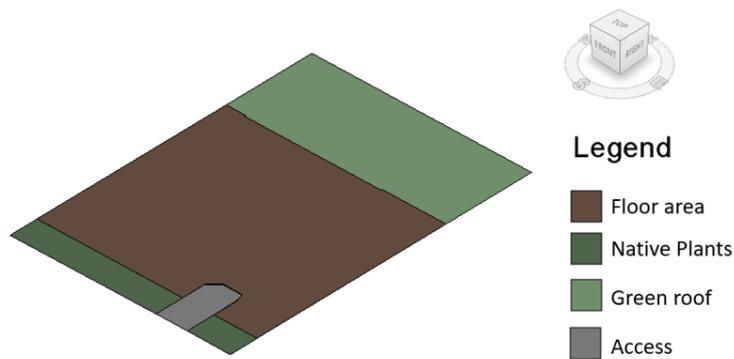


Figura 71 - Divisões da topografia (Fonte: Elaborada pela autora).

Por fim, realizou-se a classificação dos espaços com vista a organizar a informação do caso de estudo de forma precisa e assertiva. Como tal, todos os espaços do caso de estudo foram classificados no modelo pela delimitação, com limites físicos ou abstratos, dos compartimentos do ambiente construído, caracterizando-os consoante a função que desempenham. Para além desta classificação foi ainda atribuído um número a cada divisão que permite distinguir espaços com a mesma tipologia de utilização localizados em zonas distintas do edifício, como se pode observar nas Figura 72, Figura 73 e Figura 74.

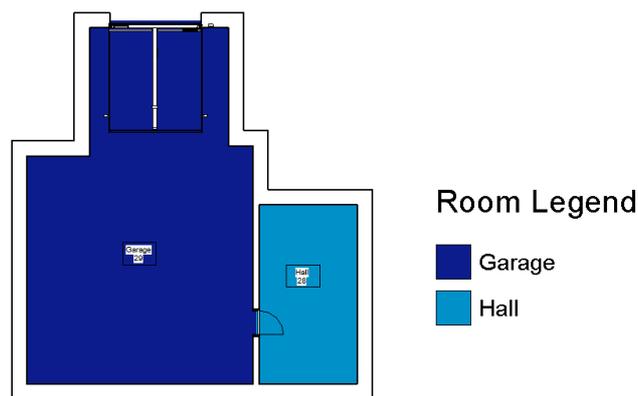


Figura 72 - Legenda da garagem (Fonte: Elaborada pela autora).

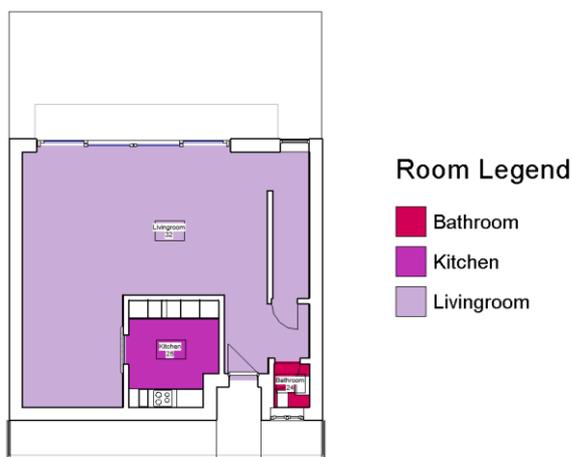


Figura 73 - Legenda do Rés-do-chão (Fonte: Elaborada pela autora).

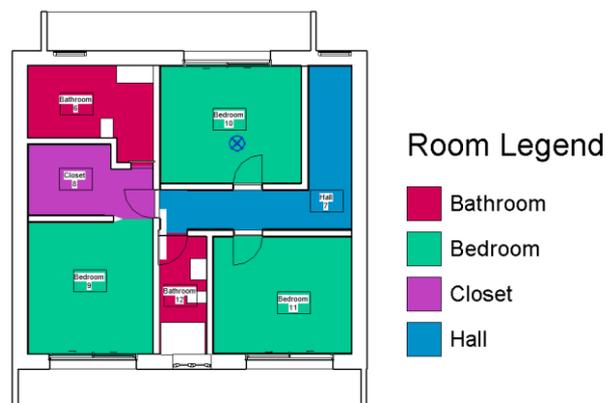


Figura 74 - Legenda do Piso 1 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2. SBT^{BIM}

4.2.2.1. Parâmetro P2 – Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível

O desempenho do edifício ao nível deste parâmetro expressa-se através da Percentagem Utilizada do Índice de Utilização Líquido Disponível (P_{AUL}). Assim, como é possível observar pelo código visual do *Dynamo* na Figura 75, a resolução deste parâmetro implica a informação numérica referente ao Maximum Land Use Index. Para tal foi necessário preenchimento da seção *Project Information* no *Revit* relativa ao índice máximo disponível no local, conforme a Figura 76. Sendo esta uma informação que varia consoante as localizações do PDM e municípios, tem de ser diretamente introduzida pelo utilizador.

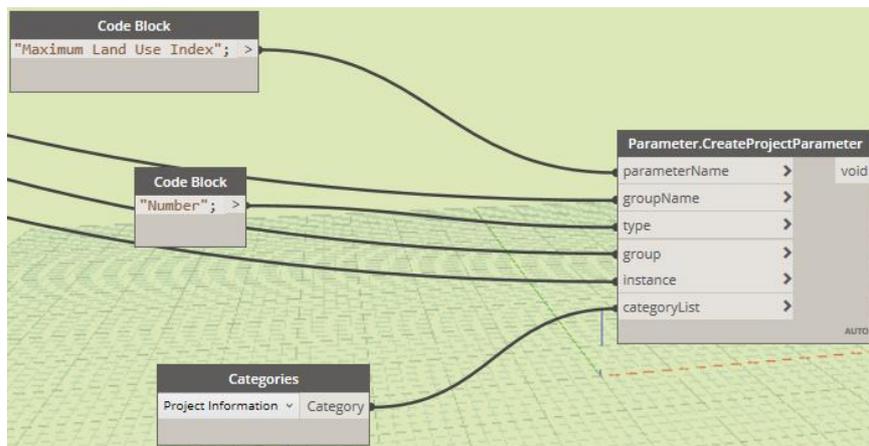


Figura 75 - Criação do parâmetro Maximum Land Use Index (Fonte: Elaborada pela autora).

A janela 'Project Information' do Revit mostra a configuração do parâmetro 'Maximum Land Use Index'. A família é 'System Family: Project Information' e o tipo é 'System Family: Project Information'. A tabela de parâmetros de instância contém o seguinte conteúdo:

Parameter	Value
Energy Analysis	
Energy Settings	Edit...
Green Building Properties	
Is there mechanical ventilation?	<input type="checkbox"/>
Maximum Land Use Index	0.600000
Pre-contaminated area	47.100 m ²
Route Analysis	
Route Analysis Settings	Edit...
Other	
Project Issue Date	Issue Date

Figura 76 - Parâmetro: Maximum Land Use Index (Fonte: Elaborada pela autora).

Após correr a segunda parte da aplicação SBT^{BIM}, obtém-se imediatamente a avaliação deste parâmetro, através de uma janela “pop-up” que aparece no ambiente do *Revit*, como se observa na Figura 77. A avaliação do parâmetro resultou numa classificação de “A+”.

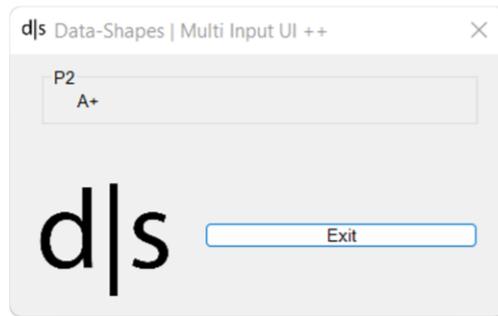


Figura 77 - Classificação do parâmetro P2 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.2. Parâmetro P3 – Índice de impermeabilização

O seguinte parâmetro avaliou-se em função do índice de impermeabilização (P_{IMP}). Foi necessário recorrer à informação referente à topografia do terreno, segundo a Figura 78, para a classificação das diferentes topografias relativamente à sua impermeabilidade, segundo a Figura 79.

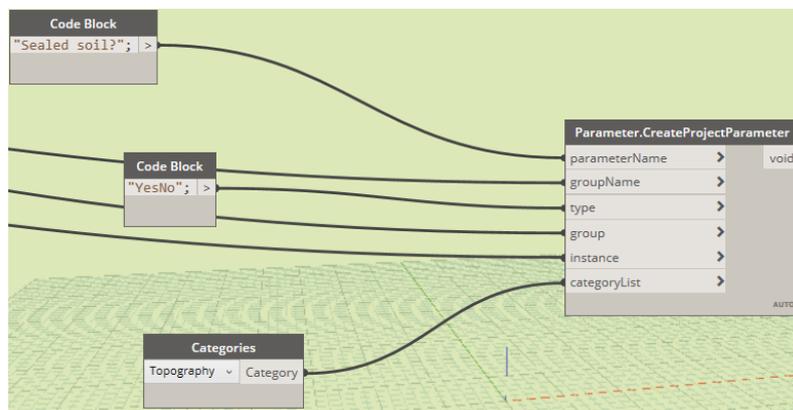


Figura 78 - Criação do parâmetro Sealed Soil (Fonte: Elaborada pela autora).

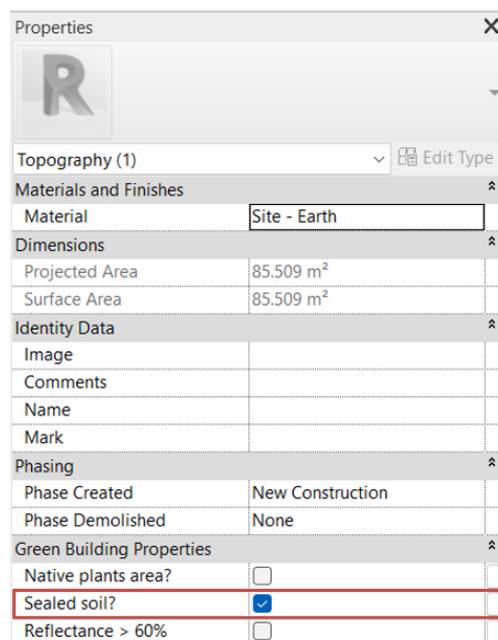


Figura 79 - Parâmetro: Sealed soil (Fonte: Elaborada pela autora).

Após correr a segunda parte da aplicação, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “E”, como se observa na Figura 80.

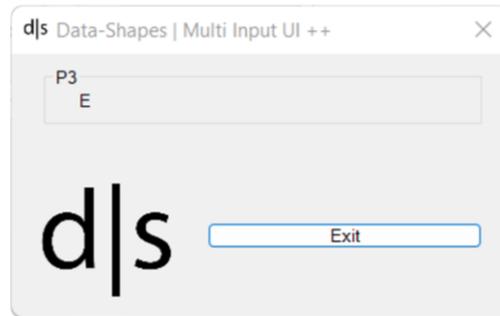


Figura 80 - Classificação do parâmetro P3 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.3. Parâmetro P4 – Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada

O seguinte parâmetro avaliou-se através do valor da Percentagem de Área Previamente Edificada (P_{ACE}). Assim, o *Dynamo* gerou o respetivo parâmetro para caracterização das topografias, conforme a Figura 81, que resulta na inclusão da característica *Pre-contaminated area* no *Project information* do *Revit*, como se observa na Figura 82.

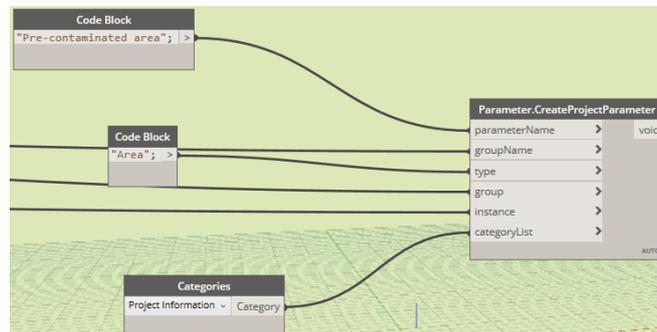


Figura 81 - Criação do parâmetro Pre-contaminated area (Fonte: Elaborada pela autora).

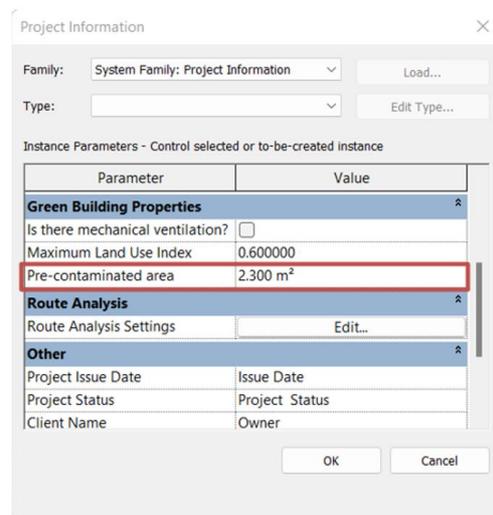


Figura 82 - Parâmetro: Pre-contaminated area (Fonte: Elaborada pela autora).

Após correr a segunda parte da aplicação, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “D”, como se observa na Figura 83.

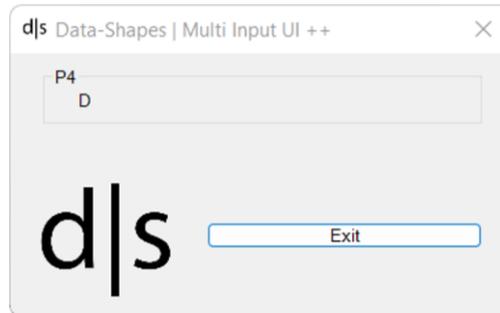


Figura 83 - Classificação do parâmetro P4 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.4. Parâmetro P5 – Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones

Este parâmetro foi avaliado através do valor da Percentagem de Áreas Verdes Ocupadas por Plantas Autóctones (P_{AUT}). Assim, foi necessário identificar as zonas topográficas destinadas a plantas autóctones, através da criação de um parâmetro específico, segundo a Figura 84, e caracterização das diversas topografias relativamente à seção *Native plants area*, conforme a Figura 85.

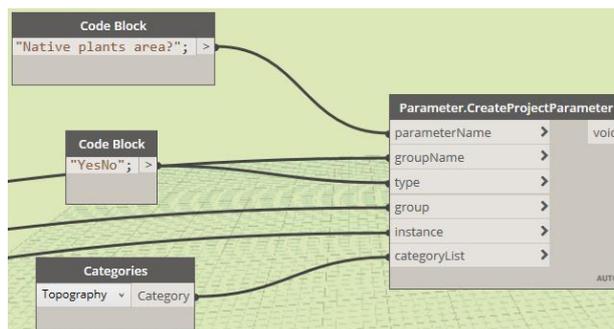


Figura 84 - Criação do parâmetro Native plants area (Fonte: Elaborada pela autora).

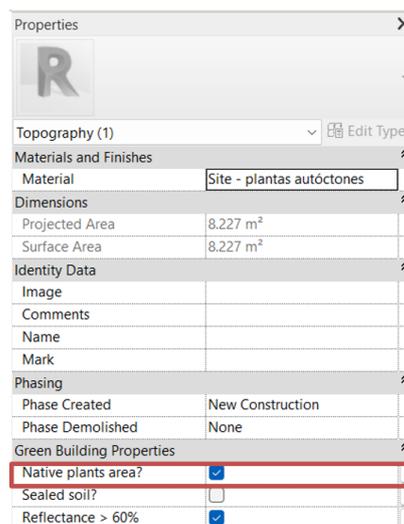


Figura 85 - Parâmetro: Native plants area (Fonte: Elaborada pela autora).

Após correr a segunda parte da aplicação, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “E”, como se observa na Figura 86.

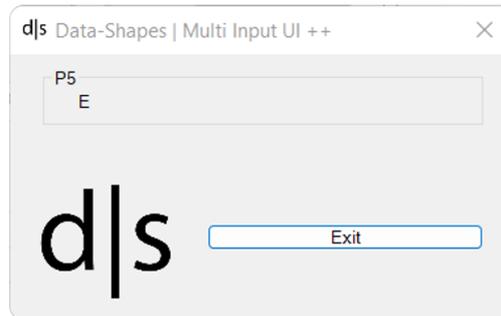


Figura 86 - Classificação do parâmetro P5 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.5. Parâmetro P6 – Percentagem da área em planta com refletância igual ou superior a 60%

O desempenho do edifício ao nível do seguinte parâmetro avaliou-se através do valor da Percentagem da Área em Planta com Refletância Igual ou Superior a 60% (P_{RFL}), segundo a Figura 87. Assim, foi necessária a caracterização das topografias referentes à área da cobertura e áreas verdes com refletância superior a 60%, assim como a área dos pavimentos exteriores com refletância inferior a 60%, conforme a Figura 71 e Figura 88.

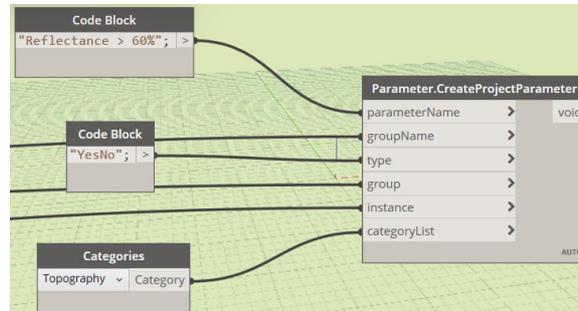


Figura 87 - Criação do parâmetro Reflectance (Fonte: Elaborada pela autora).

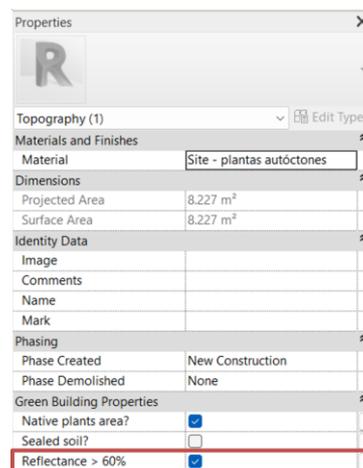


Figura 88 - Parâmetro: Reflectance (Fonte: Elaborada pela autora).

Seguidamente após correr a segunda parte da aplicação, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “A+”, como se observa na Figura 89.

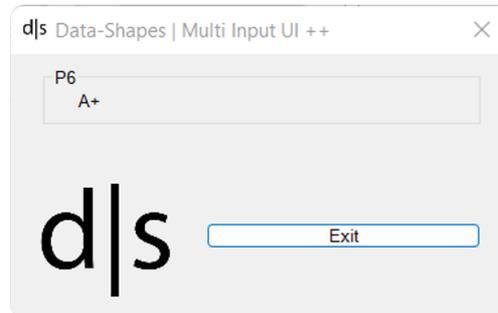


Figura 89 - Classificação do parâmetro P6 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.6. Parâmetro P9 – Percentagem em custo de materiais reutilizados

O seguinte parâmetro avalia-se através do valor da Percentagem em Custo de Materiais Reutilizados (P_{CREU}). Foi necessária a classificação de todos os materiais do modelo como material reutilizado ou não reutilizado, nas respetivas propriedades dos materiais, conforme a Figura 90. Neste caso, foi identificado como material reutilizado o isolamento térmico, lã de rocha.

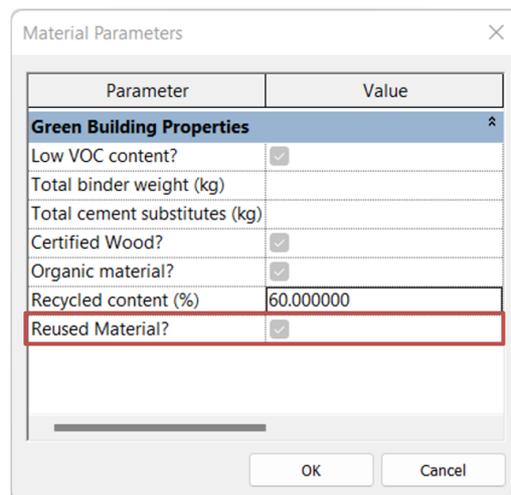


Figura 90 - Parâmetros: Reused material (Fonte: Elaborada pela autora).

Para além disto, foi necessário definir ainda o custo de todos os materiais construtivos, das portas e das janelas de forma a obter o valor do custo total dos artigos de construção. Como exemplo, na Figura 91 é possível observar as propriedades dos materiais onde se insere o custo na secção *Product Information* e na Figura 92 observa-se a introdução do custo das portas na secção *Type properties*, sendo este processo idêntico para as janelas.

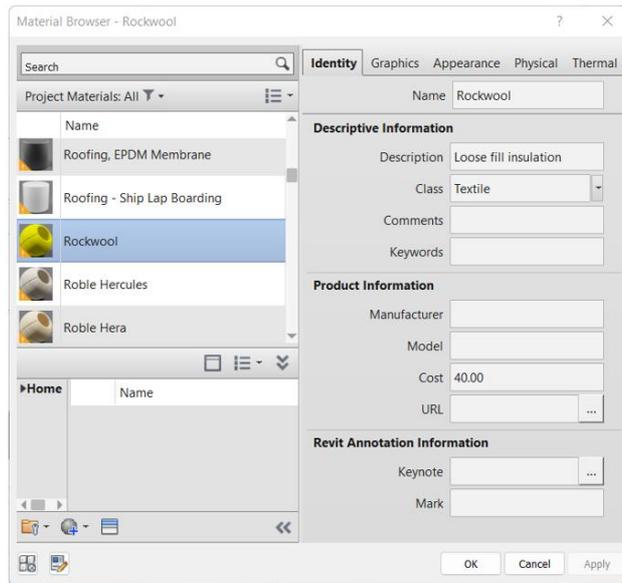


Figura 91 - Wall Schedule (Fonte: Elaborada pela autora).

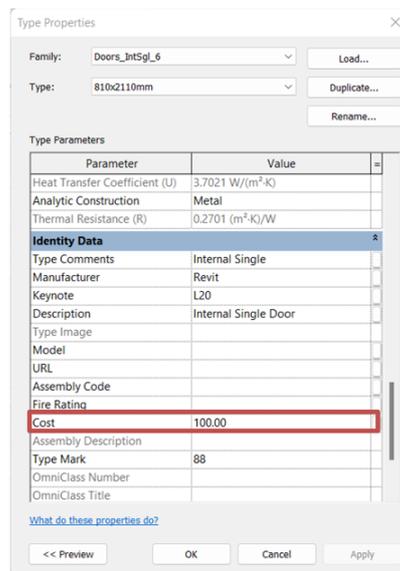


Figura 92 - Parâmetro: Cost (Fonte: Elaborada pela autora).

Seguidamente após correr a segunda parte da aplicação, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “D”, como se observa na Figura 93.

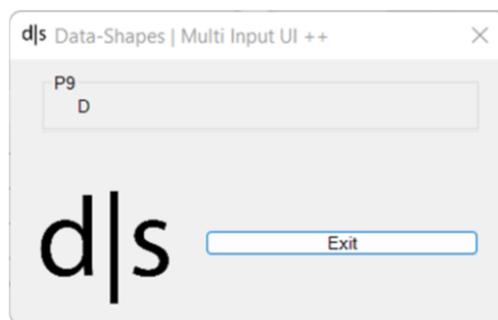


Figura 93 - Classificação do parâmetro P9 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.7. Parâmetro P11 – Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados

O parâmetro P11 analisa a utilização de materiais certificados com rótulos ecológicos. O desempenho do edifício ao nível deste parâmetro avalia-se através do valor da Percentagem em Custo de Produtos de Base Orgânica Certificados (P_{CER}). Assim, foi necessário proceder à criação dos parâmetros dos materiais como sendo orgânicos e certificados, conforme a Figura 94.

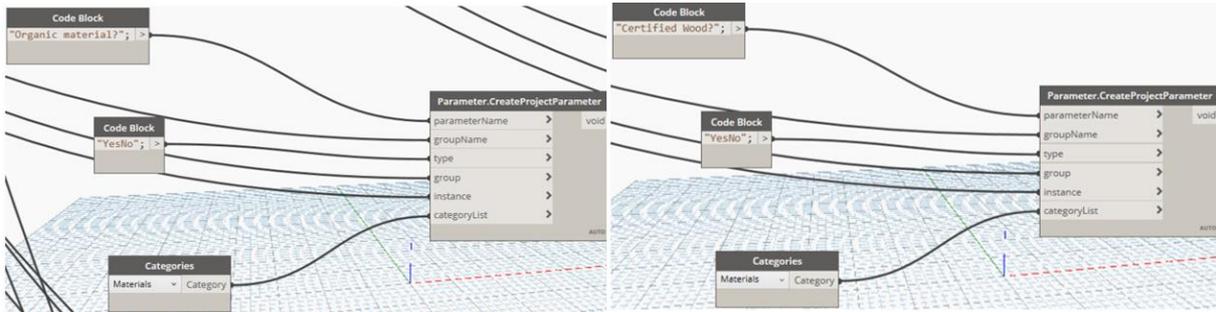


Figura 94 - Criação dos parâmetros Organic material e Certified wood (Fonte: Elaborada pela autora).

A caracterização destes parâmetros é realizada nas respetivas propriedades dos materiais, conforme a Figura 95. Para além disso, é ainda necessário identificar os custos de cada material e elemento construtivo, processo este realizado no parâmetro anterior.

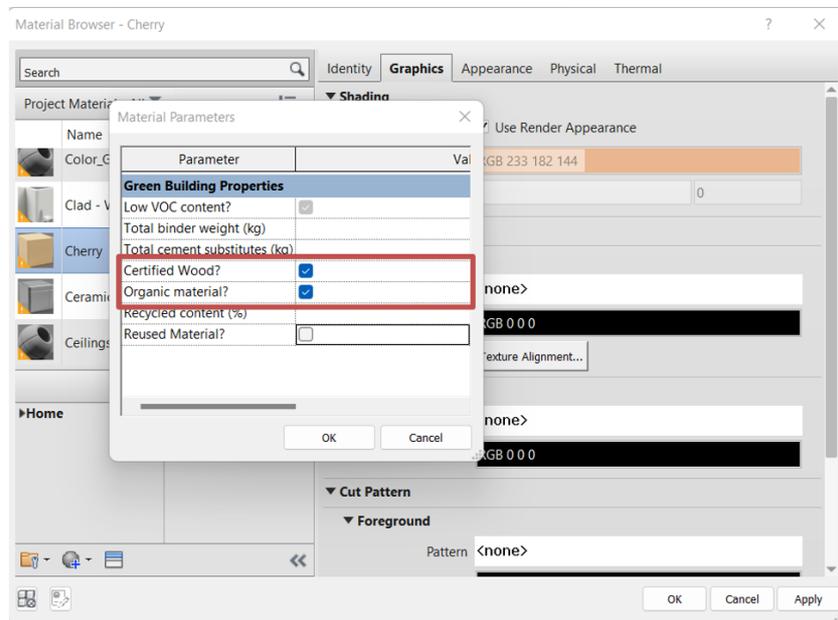


Figura 95 - Parâmetros: Certified wood e Organic material (Fonte: Elaborada pela autora).

Seguidamente após correr a segunda parte da aplicação, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “A+”, como se observa na Figura 96.

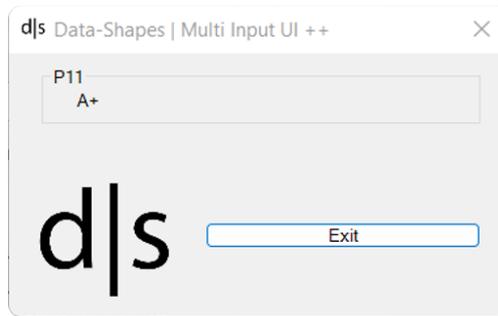


Figura 96 - Classificação do parâmetro P11(Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.8. Parâmetro P12 – Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão

A avaliação deste parâmetro foi realizada através do valor da Percentagem em Massa de Produtos Substitutos do Cimento no Betão (P_{SUB}). Assim, foi necessário identificar para cada elemento construtivo que compreendia betão, a massa total de ligante e a massa total de substituto de cimento em kg, segundo a Figura 97. Para tal, foram editados os parâmetros dos materiais de betão. No caso de o utilizador preencher esta informação, conforme a Figura 98, para materiais que não estejam inseridos na *class* de *concrete* a aplicação não os considera.

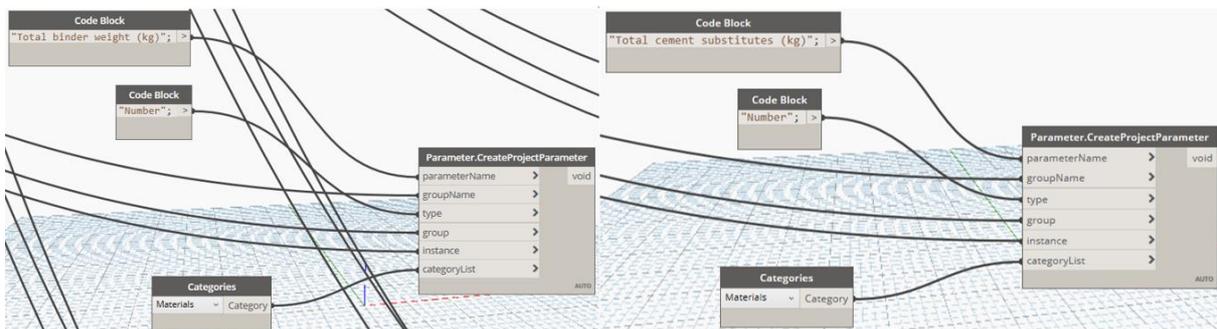


Figura 97 - Criação dos parâmetros Total binder weight e Total cement substitutes (Fonte: Elaborada pela autora).

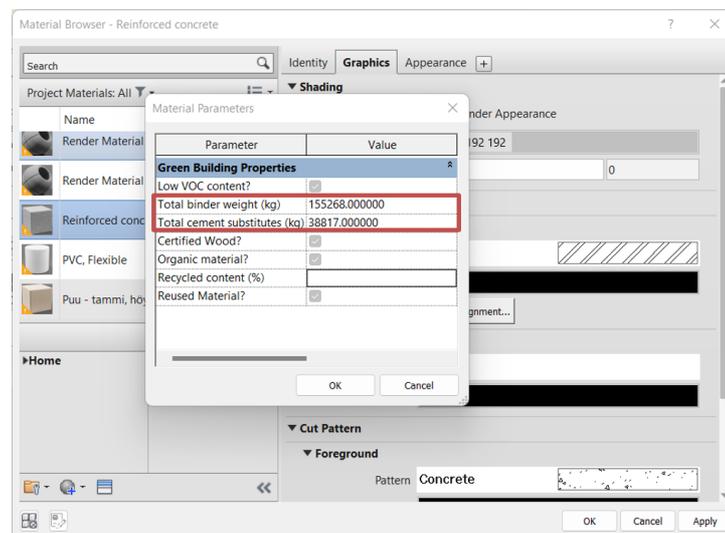


Figura 98 - Parâmetros: Total binder weight e Total cement substitutes (Fonte: Elaborada pela autora).

Após correr a segunda parte da aplicação, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “A”, como se observa na Figura 99.

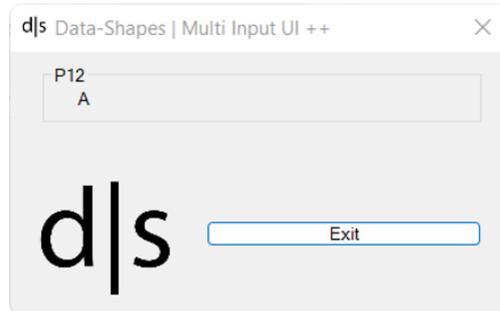


Figura 99 - Classificação do parâmetro P12 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.9. Parâmetro P13 – Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos

O desempenho do edifício ao nível deste parâmetro avaliou-se através do valor do Potencial das Condições do edifício para a Promoção da Separação de Resíduos Sólidos (P_{RSU}). A avaliação deste parâmetro passa pelo preenchimento de uma *interface* “pop-up”, conforme a Figura 100, gerada pelo *Dynamo*, com diferentes critérios relativos às condições de reciclagem no interior do edifício. Desta forma, realizou-se o preenchimento da tabela e concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “A”, segundo a Figura 101.

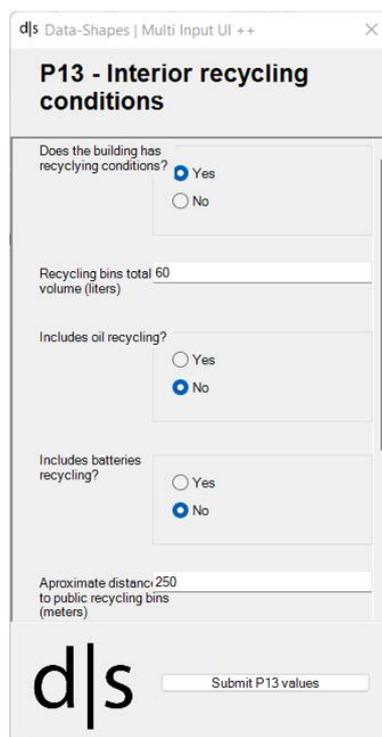


Figura 100 - Interface de preenchimento informativo do parâmetro P13 (Fonte: Elaborada pela autora).

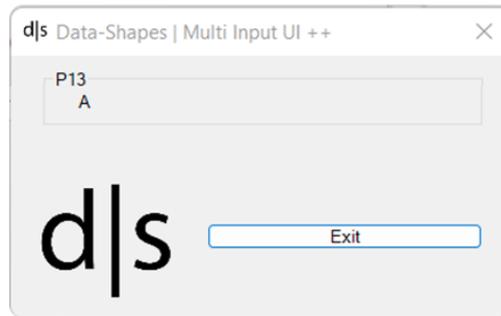


Figura 101 - Classificação do parâmetro P13 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.10. Parâmetro P16 – Potencial de Ventilação Natural

Assim como no parâmetro anterior, o seguinte parâmetro resulta do somatório de uma pontuação que é obtida através da satisfação de uma série de critérios que maximizam a eficácia da ventilação natural, o Potencial de Ventilação Natural (P_{vn}). No caso do SBTTool^{BIM} este parâmetro necessita da verificação de cinco fatores relativos às portas, janelas, ambientes e informações de projeto. Na seção *Project Information* não foi selecionada a existência de ventilação mecânica, como demonstrado na Figura 102.

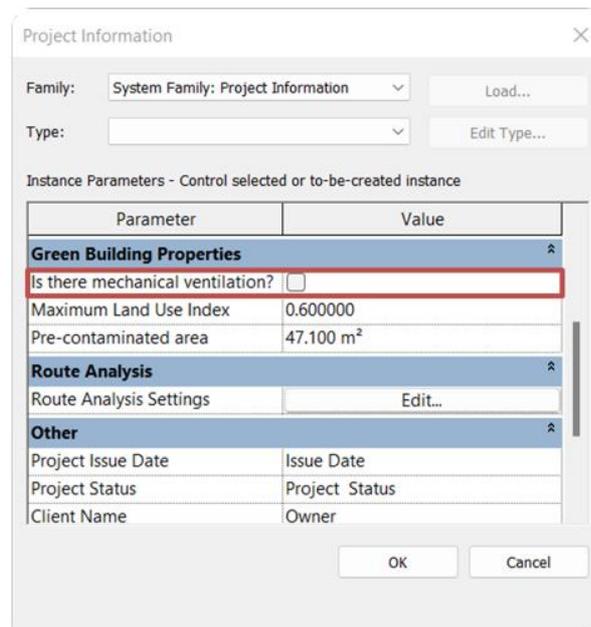


Figura 102 - Parâmetro: Mechanical ventilation (Fonte: Elaborada pela autora).

Nas portas e janelas foi identificada a existência de grelhas de ventilação, conforme as Figura 103 e Figura 104.

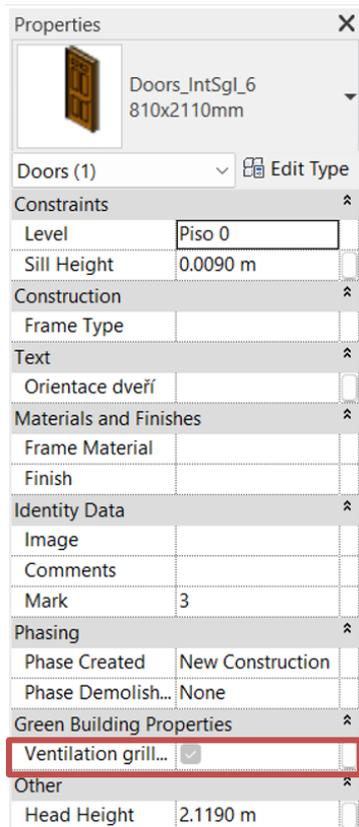


Figura 103 - Parâmetro: Ventilation grille (Fonte: Elaborada pela autora).

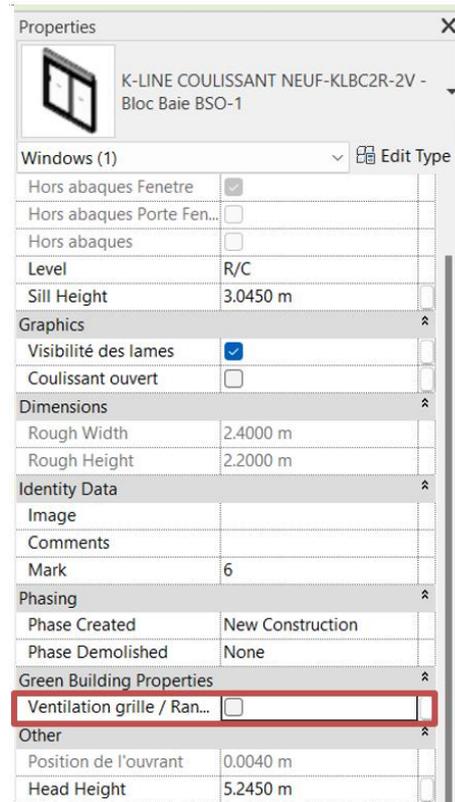


Figura 104 - Parâmetro: Ventilation grille Fonte: Elaborada pela autora).

Finalmente, nos ambientes foi necessário identificar a totalidade dos espaços habitáveis que compõem o edifício. Consideraram-se espaços habitáveis todas as divisões ou compartimentos da habitação, com exceção de vestibulos, circulações interiores, instalações sanitárias, arrumos e outros compartimentos de função similar e armários nas paredes. Para além disso, verificou-se ainda a possibilidade de existência de ventilação cruzada, segundo a Figura 105.

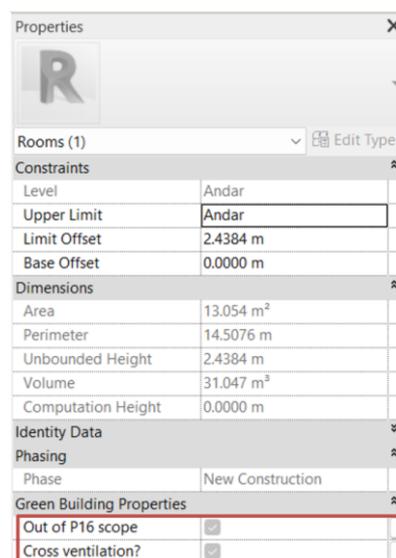


Figura 105 - Parâmetros: Out of P16 scope e Cross ventilation (Fonte: Elaborada pela autora).

Após correr a segunda parte da aplicação, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “A”, como se observa na Figura 106.

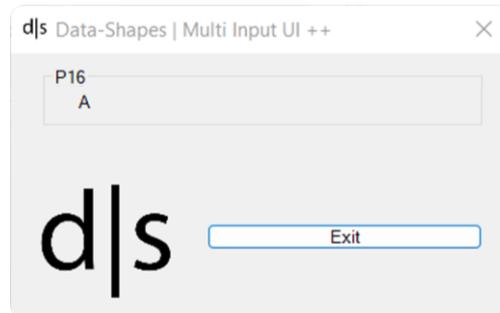


Figura 106 - Classificação do parâmetro P16 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.11. Parâmetro P17 – Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV

O desempenho do edifício no que respeita à toxicidade dos materiais de acabamento foi avaliado através da Percentagem em Peso de Materiais de Acabamento com Baixo Conteúdo de COV (P_{cov}). Assim, como é possível observar pelo código visual do *Dynamo* na Figura 107, a resolução deste parâmetro requer informação relativa à quantidade de compostos orgânicos voláteis presentes em cada material de acabamento.

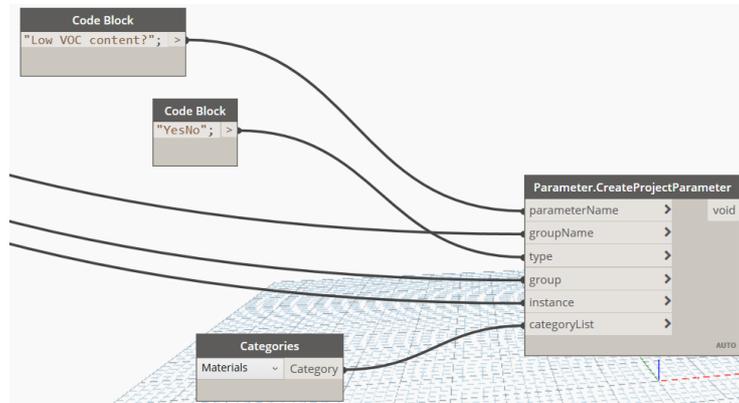


Figura 107 - Criação do parâmetro Low COV content (Fonte: Elaborada pela autora).

Para tal, foi necessário classificar cada material de acabamento no seu conteúdo de COV, conforme a Figura 108, tendo em atenção que os materiais considerados pelo modelo para a avaliação deste parâmetro compreendem as classes *Paint* e *Wood* nas paredes e cobertura e apenas *Wood* nos pavimentos. Tal facto, vai de encontro com os critérios do Guia de Avaliação.

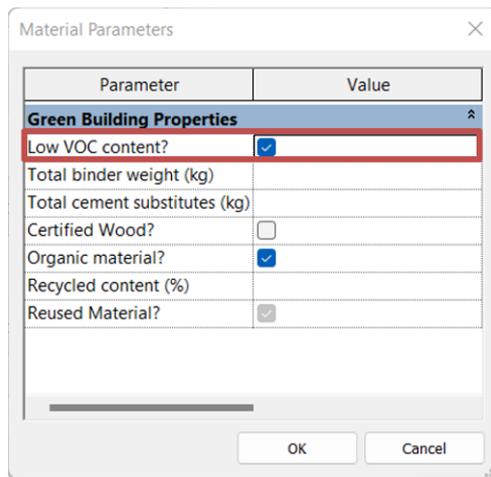


Figura 108 - Parâmetro: Low COV content (Fonte: Elaborada pela autora).

Após correr a segunda parte da aplicação, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “B”, como se observa na Figura 109.

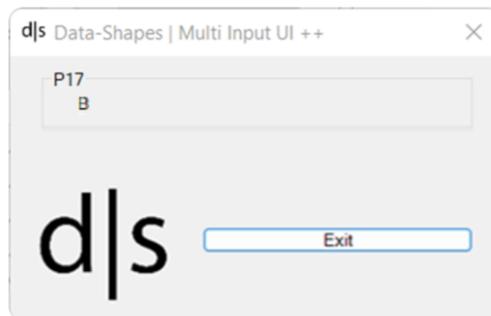


Figura 109 - Classificação do parâmetro P17 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.12. Parâmetro P22 – Índice de acessibilidade a amenidades

De forma a obter a classificação deste parâmetro calcula-se o Índice de Acessibilidade a Amenidades (P_{AA}), que depende do número e tipo de amenidades existentes e da respetiva distância à entrada principal do edifício. A avaliação deste parâmetro passa pelo preenchimento de uma *interface* “pop-up”, criada pelo *Script* do *Dynamo*, segundo a Figura 110, com diferentes critérios relativos à distância às amenidades.

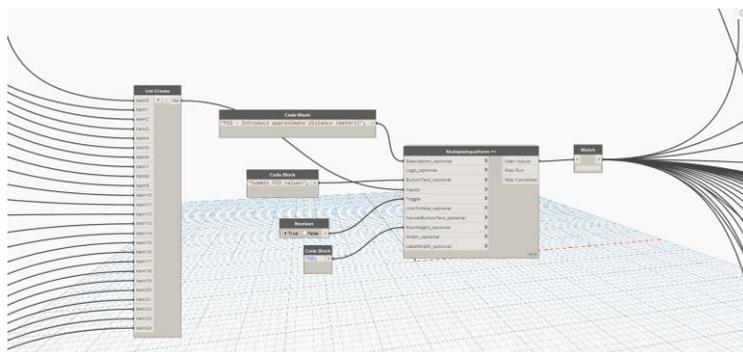


Figura 110 - Criação do parâmetro P22 (Fonte: Elaborada pela autora).

Figura 111 - Lista de distância à amenidade (Fonte: Elaborada pela autora).

Após correr a segunda parte da aplicação e preenchimento das respetivas distâncias, segundo a Figura 111, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “E”, como se observa na Figura 112.

Figura 112 - Classificação do parâmetro P22 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.13. Parâmetro P23 – Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício

O desempenho do edifício neste contexto é avaliado através de um índice (P_{MU}), cujo valor depende da disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício. Assim, como no caso anterior, este parâmetro é avaliado pelo preenchimento de uma *interface*, criada pelo *Script* do *Dynamo*, conforme a Figura 113, com diferentes critérios relativos ao Manual de Utilizador do Edifício.

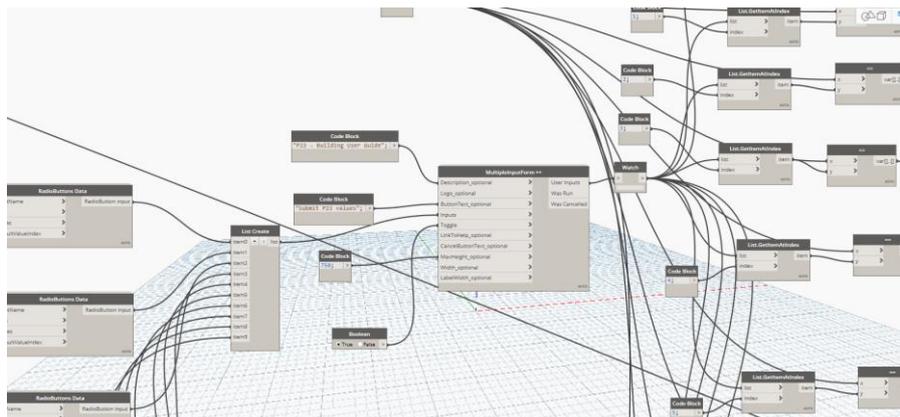


Figura 113 - Criação do parâmetro P23 (Fonte: Elaborada pela autora).

Após correr a segunda parte da aplicação e preenchimento da *checklist*, conforme a Figura 114, concluiu-se a avaliação deste parâmetro com a classificação de “D”, como se observa na Figura 115.

Figura 114 - Lista de distância à amenidade (Fonte: Elaborada pela autora).

Figura 115 - Classificação do parâmetro P23 (Fonte: Elaborada pela autora).

4.2.2.14. Resultados obtidos na classificação *SBTool^{BIM}*

Os resultados ao nível de cada parâmetro da sustentabilidade obtidos pela avaliação da sustentabilidade executada pelo método *SBTool^{BIM}*, são apresentados na Tabela 19. Nesta, observa-se que as classificações obtidas ao nível de cada parâmetro da sustentabilidade são idênticas aos resultados obtidos pela avaliação da sustentabilidade executada pelo método tradicional.

Tabela 19 - Resultados obtidos com o *SBTool^{BIM}* para cada parâmetro da sustentabilidade (Fonte: Elaborada pela autora).

Dimensão	Categoria		Desempenho (valor qualitativo)	
Ambiental	C2	P2	A+	
		P3	E	
		P4	D	
		P5	E	
		P6	A+	
		P9	D	
	C4	P11	A+	
		P12	A	
		P13	A	
		Social	P16	A
			C6	P17
C7	P22		E	
C8	P23		D	

4.3. Análise comparativa entre as duas metodologias

O caso de estudo foi submetido aos métodos de avaliação da sustentabilidade tradicional e com recurso a BIM, com o objetivo de permitir a análise comparativa dos resultados obtidos e a identificação de lacunas. A Tabela 20 expõe os resultados obtidos em cada um dos métodos. Nesta observa-se que todos os parâmetros apresentam classificações equivalentes.

Tabela 20 - Comparação entre classificação (Fonte: Elaborada pela autora).

	SBTool ^{PT-H}	SBTool ^{BIM}
P2	A+	A+
P3	E	E
P4	D	D
P5	E	E
P6	A+	A+
P9	D	D
P11	A+	A+
P12	A	A
P13	A	A
P16	A	A
P17	B	B
P22	E	E
P23	D	D

A comparação entre as classificações da solução inicial e as classificações obtidas após a criação do modelo, relativamente aos vários parâmetros em estudo, permitiu o levantamento dos benefícios e limitações de cada parâmetro considerado. O método de avaliação da sustentabilidade tradicional iniciou-se pela análise do “Guia de Avaliação SBTool^{PT-H}”. Neste estudo concluiu-se que a avaliação dos parâmetros P2 ao P6, inclusive, implicam a utilização de diferentes conceitos de áreas do edifício. Na avaliação SBTool^{BIM} estes mesmos parâmetros, com exceção do P5, utilizam a área total da parcela que é definida pela soma de todas as topografias criadas. Assim, é necessária a criação de uma topografia fragmentada em divisões específicas necessárias à avaliação SBTool^{BIM}. Na comparação realizada em seguida será considerado o trabalho previamente realizado na criação do modelo *Revit*.

4.3.1. Parâmetro P2 – Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível

Relativamente ao Parâmetro P2 obteve-se a classificação máxima de “A+” em ambas as metodologias, Tabela 20. Para a aplicação da metodologia tradicional foi necessário recorrer ao PDM e ao projeto da habitação de forma a recolher os valores das áreas necessárias à avaliação. Este processo foi bastante simples uma vez que o PDM de Braga é facilmente obtido *online* e os cálculos das áreas necessárias acessíveis. No caso da avaliação SBTool^{BIM} o processo é ainda mais simples, apenas é necessária a introdução do valor obtido no PDM e as áreas são calculadas automaticamente pelo modelo *Revit*. No entanto, este parâmetro apresenta uma dificuldade na utilização da área bruta total para edifícios com mais do que um piso, visto que a área considerada para a sua avaliação resulta do somatório das áreas de pavimentos, acima e abaixo do solo, com exclusão de sótãos não habitáveis, áreas de estacionamento, áreas técnicas, terraços, varandas, alpendres, galerias exteriores, arruamentos e outros espaços livres de uso público cobertos pela edificação. No entanto, no SBTool^{BIM} a área bruta é considerada apenas como a soma das áreas das diferentes topografias, que no caso de um edifício com mais do que um piso não compreende as áreas dos restantes pisos. Numa fase posterior, este parâmetro foi corrigido de forma a considerar o conceito correto de área bruta, sendo esta considerada como o somatório das áreas de todos os pavimentos, o que implica que as zonas que compreendem uma exceção à área bruta total não devem ser modeladas como *Floors*.

4.3.2. Parâmetro P3 – Índice de impermeabilização

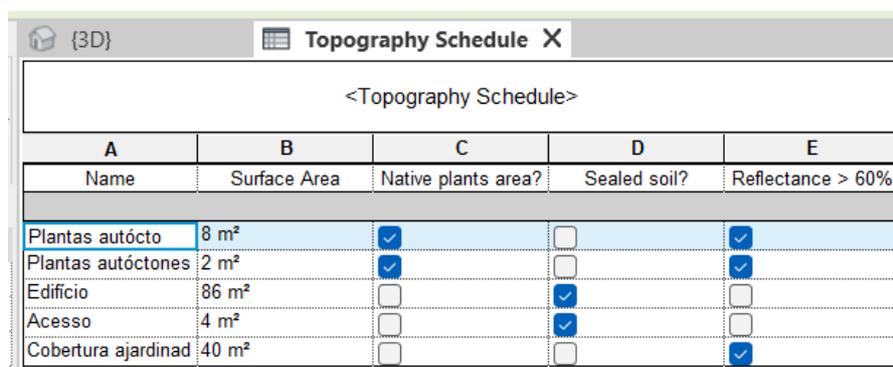
No caso do Parâmetro P3 obteve-se a classificação de “E” em ambas as metodologias, Tabela 20. A avaliação deste parâmetro pelo método tradicional compreendeu um processo simples, sendo apenas necessário o levantamento das áreas impermeabilizadas e da área total do terreno. No caso da avaliação SBTool^{BIM} o processo torna-se ainda mais acessível. Neste a área de superfície de terreno impermeabilizada em projeção horizontal é representada no modelo *Revit* como a soma das topografias classificadas como *sealed soil*. No entanto isto representa um problema uma vez que nas coberturas ajardinadas deve ser considerada 50% da área para a superfície de terreno impermeabilizada, contudo o SBTool^{BIM} apenas considera a área como 100% impermeável ou permeável, não diferenciando as coberturas ajardinadas. Uma possível solução para este problema seria a criação de um novo critério de caracterização da topografia que considerava a superfície como cobertura ajardinada e assim apenas 50% da sua área seria contabilizada para o cálculo.

4.3.3. Parâmetro P4 – Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada

Relativamente ao Parâmetro P4 obteve-se a classificação de “D” em ambas as metodologias, Tabela 20. No caso em estudo o projeto possui uma área de edifício pré-existente que seria parcialmente demolido de forma a dar início à obra em causa. Assim, sendo o princípio do parâmetro minimizar os impactos na ecologia do local gerados pela implantação de um edifício e reutilizar as áreas que tenham servido de suporte a outras construções ou que tenham sido contaminadas, a determinação das áreas previamente contaminadas ou edificadas contidas na área de intervenção (A_{pco}) foi considerada como a área da parede do edifício pré-existente que não seria demolida. Conclui-se que a avaliação pelo método tradicional compreende um processo de cálculo bastante simples e direto, que se torna ainda mais eficiente com recurso a BIM sendo apenas necessário o preenchimento de um valor relativo à área previamente edificada, sem recorrer a qualquer cálculo adicional.

4.3.4. Parâmetro P5 – Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones

No caso do Parâmetro P5 obteve-se a classificação de “E” em ambas as metodologias, Tabela 20. Este parâmetro pretende promover a utilização de plantas autóctones nos espaços verdes. Assim, a avaliação pela metodologia tradicional consistiu num processo de cálculo simples que se torna mais eficiente com a utilização do SBTTool^{BIM}. No entanto, este considera a soma de todas as topografias indicadas como permeáveis como a área total de espaços verdes. Nisto surge um problema quando são utilizados materiais como o *terraway* que consiste num material permeável, mas não compreende um espaço verde. Numa fase posterior este parâmetro foi corrigido tendo sido inserido um novo critério à caracterização da topografia, onde esta é identificada, ou não, como espaço verde, conforme a Figura 116.



<Topography Schedule>				
A	B	C	D	E
Name	Surface Area	Native plants area?	Sealed soil?	Reflectance > 60%
Plantas autócto	8 m ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Plantas autóctones	2 m ²	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Edifício	86 m ²	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acesso	4 m ²	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cobertura ajardinad	40 m ²	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 116 - Representação dos critérios de caracterização das diversas topografias (Fonte: Elaborada pela autora).

4.3.5. Parâmetro P6 – Percentagem da área em planta com refletância igual ou superior a 60%

Para o Parâmetro P6 obteve-se a classificação de “A+” em ambas as metodologias, Tabela 20. A avaliação pela metodologia tradicional consistiu num processo de cálculo simples que exigiu, com recurso ao projeto da habitação, um levantamento prévio dos valores das áreas e características dos materiais necessárias à avaliação. No entanto, surge a dificuldade em obter os valores de referência da refletância de materiais de revestimento para além dos listados na Tabela 6.1 do “Guia de Avaliação SBTTool^{PT-H}”. No que se trata da metodologia SBTTool^{BIM} esta torna o processo mais eficiente, pois requer apenas a seleção do parâmetro em cada topografia do modelo. No entanto, compreende a mesma dificuldade descrita anteriormente.

4.3.6. Parâmetro P9 – Percentagem em custo de materiais reutilizados

Relativamente ao Parâmetro P9 obteve-se a classificação de “D” em ambas as metodologias, Tabela 20. A avaliação pela metodologia tradicional consistiu num processo moroso, uma vez que é necessário a listagem de todos os materiais reciclados e a identificação dos seus custos e quantidades. No caso da avaliação SBTTool^{BIM} o processo torna-se mais acessível sendo apenas necessário o preenchimento dos custos dos materiais e a sua identificação como material reutilizado ou não reutilizado. Este processo pode se tornar ainda mais simples com a criação de uma base de dados de materiais e bibliotecas personalizadas, onde estas informações já estão contempladas.

4.3.7. Parâmetro P11 – Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados

No caso do Parâmetro P11 obteve-se a classificação de “A+” em ambas as metodologias, Tabela 20. A avaliação tradicional deste parâmetro foi bastante exaustiva, na medida em que é necessário o levantamento de todos os materiais e das suas quantidades. Este processo torna-se mais eficiente com recurso a BIM sendo apenas necessário o preenchimento dos custos dos materiais e a identificação como material orgânico e como madeira certificada. Neste surgiu uma única dificuldade na obtenção de fornecedores de material e produtos de base orgânica com certificado ambiental. Este processo pode ser evitado com a criação de uma base de dados de materiais e bibliotecas personalizadas, onde estas informações já estão contempladas.

4.3.8. Parâmetro P12 – Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão

Para o Parâmetro P12 obteve-se a classificação de “A” em ambas as metodologias, Tabela 20. No caso da avaliação tradicional o processo é de cálculo simples, no entanto, denota-se dificuldade na quantificação das quantidades de betão, principalmente nos casos em que a avaliação é aplicada à posteriori, em contexto de obra. Este processo torna-se mais eficiente na metodologia SBTTool^{BIM}, sendo apenas necessário inserir os valores das massas de ligante e substitutos de cimento, sem a necessidade de qualquer cálculo adicional.

4.3.9. Parâmetro P13 – Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos

No que se refere ao Parâmetro P13 obteve-se a classificação de “A” em ambas as metodologias, Tabela 20. Neste caso, para a avaliação tradicional é necessário obter informação relativa aos locais mencionados e realizar o preenchimento de uma lista de créditos que transparecem numa classificação. Assim o único problema associado com este processo está relacionado com a falta de identificação dos locais de deposição destes resíduos na aplicação de pesquisa e visualização de mapas, *Google Maps*. Na metodologia SBTTool^{BIM} o processo é igualmente simples, sendo apenas necessário o preenchimento de uma lista de créditos gerada automaticamente no *Revit*. No entanto evita-se o processo de cálculo e atribuição de classificações, assim como se integra o parâmetro na avaliação global para uma análise mais completa. Os problemas associados a este processo de avaliação passam pelo facto de a lista de créditos ter de ser preenchida sempre que se pretende realizar novamente a avaliação, assim como ao facto de, quando não preenchida, ser apresentada a classificação equivalente a “E”. Contudo estas questões foram resolvidas, sendo as opções selecionadas na lista de créditos guardadas automaticamente após o seu preenchimento (através de um ficheiro local) e o valor da classificação da lista não preenchida igual a zero.

4.3.10. Parâmetro P16 – Potencial de ventilação natural

Relativamente ao Parâmetro P16 obteve-se a classificação de “A” em ambas as metodologias, Tabela 20. A avaliação tradicional compreende o preenchimento de uma lista de créditos que permite obter uma classificação final. No entanto, o levantamento das informações relativas ao projeto, janelas, portas e divisões e os cálculos auxiliares necessários à avaliação torna-se um processo moroso. No caso do SBTTool^{BIM} também é necessário classificar o projeto, janelas, portas e quartos relativamente às

caraterísticas necessárias à avaliação de forma a obter o cálculo automático da classificação. No entanto este processo torna-se muito mais eficiente sendo apenas necessária a identificação de cada caraterística do elemento nas propriedades previamente criadas, sem a necessidade de qualquer cálculo adicional.

4.3.11. Parâmetro P17 – Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV

No caso do Parâmetro P17 obteve-se a classificação de “B” em ambas as metodologias, Tabela 20. A avaliação tradicional é um processo maçador onde têm de ser obtidas as quantidades e densidades de todos os materiais de acabamento de forma a identificar as massas totais dos materiais de revestimento suscetíveis de libertar compostos orgânicos voláteis e distinguir os materiais com baixo conteúdo de COV. Por outro lado, a avaliação SBT^{BIM} é um processo simples no qual apenas é necessário identificar os materiais com baixo valor de COV, pois as quantidades e características dos materiais já são inerentes ao modelo. Esta avaliação compreende apenas os materiais orgânicos nas classes *Paint* e *Wood* nas paredes e cobertura e apenas *Wood* nos pavimentos, logo não considera os envernizamentos e carpintarias dos tetos. No entanto, o processo de adição destas características é similar ao existente, logo, facilmente é atualizado para que as compreenda.

4.3.12. Parâmetro P22 – Índice de acessibilidade a amenidades

No que se refere ao Parâmetro P22, obteve-se a classificação de “E” em ambas as metodologias, Tabela 20. Este parâmetro requer o preenchimento de uma lista de créditos relativos às amenidades existentes no local e arredores da construção, com recurso a uma aplicação de pesquisa e visualização de mapas como o *Google Maps*. Neste caso, o problema associado a ambas as avaliações passa pela inexistência de certas amenidades na base de dados do *Google Maps*. No caso do SBT^{BIM} evita-se o processo de cálculo e atribuição de classificações, assim como se integra o parâmetro na avaliação global para uma análise mais completa. No entanto, surge o problema associado ao facto da lista de créditos ter de ser preenchida sempre que se pretende realizar novamente a avaliação. Contudo esta questão foi novamente resolvida, sendo as opções selecionadas na lista de créditos guardadas automaticamente após o seu preenchimento.

4.3.13. Parâmetro P23 – Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício

No caso do Parâmetro P23 obteve-se a classificação de “D” em ambas as metodologias, Tabela 20. Este parâmetro é de simples classificação tanto na metodologia tradicional como com o SBTTool^{BIM}. Para cada uma das metodologias, apenas é necessário preencher a lista de créditos em função da informação incluída no Manual de Utilizador do Edifício que contem a Ficha Técnica da Habitação e toda a informação complementar que permita ao consumidor manter e utilizar o edifício da forma mais sustentável. No caso do SBTTool^{BIM} evita-se o processo de cálculo e atribuição de classificações, assim como se integra o parâmetro na avaliação global para uma análise mais completa. Os problemas associados a este processo passam pelo facto da lista de créditos ter de ser preenchida sempre que se pretende realizar novamente a avaliação e ao facto de, quando não preenchida, ser apresentada a classificação equivalente a “E”. Contudo estas questões foram resolvidas.

4.3.14. Conclusão da análise comparativa

O SBTTool^{PT-H} pretende contribuir para a promoção e adoção de soluções alternativas às soluções e processos de construção convencionais, de modo que os edifícios de habitação sejam compatíveis com os objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Assim, tornam-se essenciais as preocupações com a sustentabilidade durante a fase de projeto. Neste contexto, o sistema de avaliação SBTTool^{PT-H} é uma importante ferramenta para os projetistas pois permite compreender os impactes associados às diferentes alternativas de projeto. Contudo, a aplicação desta metodologia de avaliação ao caso de estudo possibilitou constatar que se trata de um processo moroso e complexo, que exige acesso a diversa informação do projeto, bem como a diferentes aplicações e *software*. Trata-se de um processo iterativo, onde por tentativa e erro se tenta otimizar o nível de sustentabilidade do edifício. Contudo, devido às dificuldades de obtenção de informação e tempo necessário de avaliação, estes métodos são apenas utilizados em fases finais de projeto, apenas para classificar o edifício e não com o intuito de melhorar a sua sustentabilidade. Por sua vez, a metodologia SBTTool^{BIM} constitui um sistema intuitivo que simplifica a avaliação sustentável de edifícios, possibilita a tomada de decisão e a promoção de técnicas sustentáveis em fases iniciais de projeto de arquitetura e permite, a todos os *stakeholders*, o acesso à informação através do modelo BIM. Porém, apresenta algumas adversidades no que se refere à criação do modelo paramétrico e à caracterização de diversos parâmetros para diferentes materiais, elementos construtivos e informações do modelo.

No caso dos parâmetros P2 ao P6, inclusive, a aplicação da metodologia tradicional para a obtenção das classificações pretendidas consiste num processo simples, uma vez que a informação necessária à sua avaliação se resume, principalmente, a valores dimensionais relativos ao terreno em que o edifício se encontra. No entanto, o SBTTool^{BIM} possibilita uma maior simplificação do processo, uma vez que as dimensões e características já são inerentes ao modelo, evitando a procura das áreas das diferentes topografias. Porém, no que se refere a estes parâmetros, esta ferramenta ainda apresenta limitações referentes à incapacidade de reconhecimento de coberturas ajardinadas como 50% da área para a superfície de terreno impermeabilizado e ao facto de considerar a soma de todas as topografias indicadas como permeáveis como a área total de espaços verdes, o que impossibilita a utilização de materiais como o *terraway* que consiste num material permeável, mas não compreende um espaço verde.

A avaliação dos parâmetros P9, P11, P12 e P17 está relacionada com as características, quantidades e custos dos materiais. Nestes, a avaliação pela metodologia tradicional consistiu num processo moroso e exaustivo que requer o levantamento de diversas características dos materiais, densidades, rendimentos, quantidades e custos. Por outro lado, a avaliação SBTTool^{BIM} torna este processo mais acessível uma vez que esta ferramenta acede e filtra os dados de acordo com os requisitos de informação. Para além disso as características dos materiais são inerentes ao modelo, sendo apenas necessário o preenchimento das informações dos materiais necessárias à avaliação ou recorrer a uma base de dados de materiais e bibliotecas personalizadas, onde estas informações já estão contempladas. Todavia, destaca-se uma limitação, no P17 não são considerados os materiais de acabamento dos elementos modelados como *ceilings*, estes devem ser modelados como roofs para que sejam incluídos na avaliação.

Relativamente aos parâmetros P13, P16, P22 e P23 para a avaliação tradicional é necessário o preenchimento de uma lista de créditos que transparecem numa classificação, evitando o processo de cálculo e atribuição de classificações, assim como integra os parâmetros na avaliação global para uma análise mais completa. Com exceção do P16, que exige uma quantidade de cálculos adicionais significativa, este processo é de simples execução, tornando-se mais acessível com recurso ao SBTTool^{BIM} pois evita a necessidade de quaisquer cálculos adicionais. Nestes parâmetros o SBTTool^{BIM} possibilita a automatização do processo de cálculo e a atribuição de classificações, assim como integra os parâmetros na avaliação global para uma análise mais completa.

Desta forma, conclui-se que o SBTTool^{BIM} proporciona a simplificação do processo de avaliação da sustentabilidade, na medida em que, a informação inerente ao modelo BIM possibilita a quantificação automática de materiais e dimensões, viabiliza o processamento automático das características dos materiais e apresenta a solução da classificação instantaneamente pela automatização do processo

cálculo. Todavia constatam-se algumas dificuldades no que se refere à falta de controlo total do processo de análise e à caracterização do modelo, uma vez que, neste momento, a aplicação apresenta determinadas limitações na consideração de alguns detalhes. Neste contexto, é necessária a criação de um guia de caracterização do modelo BIM, de forma a evitar erros e facilitar a modelação detalhada do edifício conforme as necessidades exigidas pelo SBTTool^{BIM}.

Contudo, apesar das dificuldades, o SBTTool^{BIM} representa uma ferramenta útil e eficiente para a avaliação sustentável de edifícios comparativamente com o processo tradicional. De facto, o processo tradicional exige a recolha de informação, quantificação de materiais e dimensões, acesso e realização de análises específicas e requer um tempo de análise de 5 a 7 dias. O SBTTool^{BIM} converte esta metodologia morosa num processo intuitivo e rápido, com um tempo de análise de 1 a 2 dias, incluindo toda a recolha de informação, criação e caracterização do modelo, análises específicas e processo de cálculo. Portanto, apesar da avaliação SBTTool^{BIM} não abranger todos os critérios sustentáveis, permite a indicação clara do nível de sustentabilidade do edifício em fases iniciais de projeto, possibilitando a tomada de decisão e introdução de novas medidas sustentáveis sem despende demasiados recursos e num curto espaço de tempo. Desta forma, possibilita o alcance de um efetivo aumento da sustentabilidade do edificado pois promove a fácil análise das melhorias e técnicas sustentáveis.

4.4. Integração dos parâmetros P24 e P25 da dimensão económica da sustentabilidade na estrutura de dados e *template* SBTTool^{BIM}

Neste capítulo é apresentada uma proposta de integração dos parâmetros da dimensão económica do SBTTool^{PT-H}, P24 e P25, na estrutura existente do SBTTool^{BIM}. Estes parâmetros são referentes ao Valor do Custo do Investimento Inicial por m² de área útil e ao Valor Atual dos Custos de Utilização por m² de área útil, respetivamente. O processo de integração iniciou-se pelo levantamento dos *inputs* necessários à avaliação destes parâmetros com recurso ao “Guia de Avaliação SBTTool^{PT-H}”. Na Tabela 21 e Tabela 22 foram identificadas as informações necessárias à avaliação de cada um dos parâmetros, bem como a forma como esta informação deve ser obtida.

Tabela 21 - Análise dos inputs necessários à avaliação do parâmetro P24 (Fonte: Elaborada pela autora).

Benchmark	Informação necessária para o SBTTool ^{PT-H}	Critérios necessários	Localização da informação a obter
Melhor prática	Valor do custo do investimento inicial (P_{ci})	Média dos custos por m ² dos 3 edifícios de menor custo do estudo de 10 edifícios semelhantes ao que se pretende avaliar na área envolvente ao local de implantação	Inquérito à Avaliação Bancária na Habitação (IABH) Estudo de mercado dos custos por m ² que se praticam na área envolvente ao local de implantação
Prática convencional	Valor do custo do investimento inicial (P_{ci})	Média dos custos por m ² de 10 edifícios semelhantes ao que se pretende avaliar na área envolvente ao local de implantação	Inquérito à Avaliação Bancária na Habitação (IABH) Estudo de mercado dos custos por m ² que se praticam na área envolvente ao local de implantação
Solução em estudo	Valor do investimento Inicial (P_{ci})	Valor do mercado de cada m ² de área útil do edifício	Preço de venda a público do edifício

Tabela 22 - Análise dos inputs necessários à avaliação do parâmetro P25 (Fonte: Elaborada pela autora).

Informação necessária para o SBTTool ^{PT} – H	Critérios necessários	Localização da informação a obter
Necessidades de energia primaria de referência (CE _{MF})	N_v, N_i e QA, Ref	Projeto térmico ou certificado energético/ Pré-certificado energético ou obtidos no Cypetherm REH para a avaliação dos parâmetros P7 e P8
	T_{EE}	Site da empresa fornecedora de energia (exemplo EDP)
Necessidades de energia primaria (CE _{SE})	N_{vc}, N_{ic} e QA	Certificado energético/Pré-certificado ou obtidos no Cypetherm REH para a avaliação dos parâmetros P7 e P8
	η_i, η_v e η_a	Portaria n.º. 349-B/2013 (Tabelas I.3, I.10, I.11, I.15, I.16 e I.19) ou obtidos no Cypetherm REH para a avaliação dos parâmetros P7 e P8
	T_i, T_v e T_a	Valores de poder calorífico inferior (PCI) dos equipamentos dos sistemas de aquecimento e arrefecimento e equipamentos de aquecimento das águas sanitárias ou Valores de médios de referência da Tabela 25.2 do Guia de Avaliação SBTTool ^{PT} -H.
Custo anual do consumo de água potável e da produção de águas residuais e de resíduos sólidos urbanos (CA _{MP}), (CA _{RC}) e (CA _{SE})	P_{CA}^*, P_{CA*} e P_{CA}	Obtidos na avaliação do parâmetro P14
	P_{RCA}^*, P_{RCA*} e P_{RCA}	Obtidos na avaliação do parâmetro P15
	n	Despacho n.º 15793-I/2013
	A_U	Projeto
	T_{AP}, T_{AS} e T_{RS}	Tabela emitida pela entidade local responsável pelo abastecimento de água potável e pela drenagem e tratamento de águas residuas
Atual Custo de utilização (P _{cu}), (P _{cu}) e (P _{cu})	i	www.euribor.org
	n	Duração prevista para o ciclo de vida do edifício (em anos). Na ausência deste valor no projeto, considerar uma duração de 50 anos.

A análise do Guia de Avaliação SBTTool^{PT}-H concluiu que o parâmetro P24 tem por objetivo promover a conceção de edifícios sustentáveis que apresentem custos iniciais semelhantes aos dos edifícios convencionais. A avaliação do desempenho do edifício a nível deste parâmetro realiza-se através do Valor do Custo do Investimento Inicial por m² de área útil (P_{ci}). Este valor corresponde ao custo de construção ou valor de venda ao público e inclui todas as despesas associadas ao edifício, até à conclusão da fase de construção. Assim, é necessário obter os valores dos *benchmarks* P_{ci} e P_{cr} com recurso ao IABH ou pela realização de um estudo de prospeção do mercado referente a 10 edifícios semelhantes ao que se pretende avaliar. A Tabela 23 identifica quais dos critérios necessários à obtenção da informação fundamental à avaliação são possíveis obter com recurso, direto ou indireto, ao modelo *Revit*, qual o *software* adicional para a sua obtenção e a inevitabilidade da interferência do utilizador.

Tabela 23 - Critérios necessários à avaliação do parâmetro P24 (Fonte: Elaborada pela autora).

Critérios necessários à obtenção da informação	Potencial uso BIM	IU
Custos por m ² de 10 edifícios semelhantes ao que se pretende avaliar na área envolvente ao local de implantação	O utilizador deve inserir a média dos custos por m ² de 10 edifícios para a determinação do <i>benchmark</i> das práticas convencionais e a média dos custos por m ² dos 3 edifícios de menor custo para calcular o <i>benchmark</i> das melhores praticas, nos parâmetros previamente criados no <i>Revit</i> .	✓
Valor do investimento inicial	Valor retirado pela quantificação dos custos do modelo, que já contém as quantidades e custos dos materiais, com a aplicação de um fator associado à mão-de-obra e outro associado à margem de lucro, obtém-se o valor de venda.	

IU – Interferência do utilizador – Devem ser recolhidas informação e dados externos ao modelo BIM, tais como dados regulamentais e legislativos, custos de recursos, entre outros.

Portanto, a solução considerada para a integração deste parâmetro no SBTTool^{BIM} compreende a criação de um *script* do *Dynamo* onde será apenas necessária a introdução dos valores referentes aos custos por m² dos 10 edifícios e aos custos por m² dos 3 edifícios de menor custo. As médias destes valores podem ser obtidas automaticamente com recurso ao *Dynamo*, que realiza os cálculos necessários para cada *benchmark*, ou podem ser calculadas externamente ao modelo e inseridas numa janela personalizada gerada pelo *Dynamo*. Para além disto, com a aplicação de um fator associado à mão de

obra e outro associado à margem de lucro, o valor do investimento inicial é retirado pela quantificação dos custos do modelo, que já contém as quantidades e custos dos materiais. A sua utilização, à semelhança dos parâmetros P13 e P23, passa pela verificação e preenchimento dos conteúdos listados por meio de uma interface gerada pela aplicação que, posteriormente, fará a soma de todos os créditos obtidos.

Com esta informação é possível obter a classificação deste parâmetro, uma vez que o *script* do *Dynamo* permite o cálculo automático da expressão representada na Figura 117, obtendo o valor normalizado. Este valor é convertido numa escala graduada, conforme apresentado na Figura 118, onde é obtida a classificação final, adotando o mesmo processo que os restantes parâmetros.

Normalização

$$\overline{P_{CI}} = \frac{P_{CI} - P_{CI*}}{P_{CI}^* - P_{CI*}} = \frac{\frac{(P24.3)}{\square} - \frac{(P24.2)}{\square}}{\frac{(P24.1)}{\square} - \frac{(P24.2)}{\square}} = \frac{(P24.4)}{\square}$$

Figura 117 - Equação de normalização do parâmetro P24 (Fonte: [45]).

```

Code Block
a a < 0?
"E":
a >= 0 && a <= 0.1?
"D":
a > 0.1 && a <= 0.4?
"C":
a > 0.4 && a <= 0.7?
"B":
a > 0.7 && a <= 1?
"A":
a > 1?
"A+":
"";

```

Figura 118 - Conversão no Dynamo dos resultados quantitativos numa escala qualitativa graduada (Fonte: Elaborada pela autora).

Relativamente ao parâmetro P25, o levantamento dos *inputs* necessários à sua avaliação e o estudo do “Guia de Avaliação SBTTool^{PT}-H”, conclui que o seu objetivo consiste em promover a conceção de edifícios sustentáveis que apresentem custos de utilização inferiores ao dos edifícios convencionais. Assim, o desempenho do edifício a nível deste parâmetro é obtido através da comparação do seu valor de P_{cu} , Valor Atual dos Custos de Utilização por m^2 de área útil, com o valor corresponde à melhor prática e à prática convencional. Desta forma, é necessário obter as informações relativas ao Custo Anual do Consumo de Energia e ao Custo Anual do Consumo de Água Potável e da Produção de Águas Residuais e de Resíduos Sólidos Urbanos, para a melhor prática, prática convencional e solução em estudo. A

Tabela 24 identifica os critérios necessários à obtenção da informação fundamental à avaliação deste parâmetro e de que forma esta informação é obtida.

Tabela 24 - Critérios necessários à avaliação do parâmetro P25 (Fonte: Elaborada pela autora).

Critérios necessários à obtenção da informação	Proveniência da informação
N_v, N_i, N_a e N_t	Obtidos no Cypetherm REH para a avaliação dos parâmetros P7 e P8
N_{vc}, N_{ic}, N_{ac} e N_{tc}	Obtidos no Cypetherm REH para a avaliação dos parâmetros P7 e P8
η_i, η_v e η_a	Obtidos no Cypetherm REH para a avaliação dos parâmetros P7 e P8
P_{CA}^*, P_{CA*} e P_{CA}	Obtidos na avaliação do parâmetro P14
n	Inserido no modelo para a avaliação do parâmetro P14
P_{RCA}^*, P_{RCA*} e P_{RCA}	Obtidos na avaliação do parâmetro P15
T_{AP}, T_{AS} e T_{RS}	Inserida na aplicação pelo utilizador
T_i, T_v e T_a	Inserida na aplicação pelo utilizador
T_{EE}	Inserida na aplicação pelo utilizador
i	Inserida na aplicação pelo utilizador
n	Inserida na aplicação pelo utilizador
A_U	Modelo BIM

Portanto, a solução apresentada para a integração deste parâmetro no SBTTool^{BIM} compreende um processo complexo, que requer a informação obtida com recurso a *software* externo ao *Revit* e a recolha de uma numerosa quantidade de critérios. O modelo BIM deve conter informações referentes às características de eficiência de consumo de água de cada um dos dispositivos instalados ou previstos no edifício e do equipamento utilizado nos sistemas que permitem a reutilização das águas cinzentas e utilização das águas pluviais – informações necessárias à avaliação dos parâmetros P14 e P15. Para além disso deve-se recorrer a programas de simulação energética para obter os valores das eficiências nominais dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e de arrefecimento e de Águas quentes sanitárias (AQS), sob condições nominais de funcionamento. Esta informação especializada deve ser retirada do *Cype* o que exige conhecimento do *software* e uma licença de utilização. Os critérios referentes ao consumo de energia devem ser obtidos externamente ao *Revit* com recurso ao Cypetherm REH e devem ser posteriormente inseridos para a avaliação dos parâmetros P7 e P8. As informações

referentes aos restantes critérios devem ser recolhidas pelo utilizador de acordo com as condições e serviços locais existentes. Estes valores devem ser posteriormente inseridos na aplicação.

Por outro lado, uma outra solução passa por uma avaliação SBTool^{BIM} inicial, onde é obtido um *Excel* de dados de modo a agrupar os resultados referentes a todos os parâmetros possíveis de avaliar sem recurso a *software* adicional. Neste *Excel* de dados são agrupadas as informações e resultados necessários à avaliação do P25, como os resultados dos P14 e P15. Este estaria conectado por macros com o *Excel* de avaliação SBTool^{PT-H}, onde seriam preenchidos automaticamente os dados dos parâmetros avaliados inicialmente com o SBTool^{BIM}. Finalmente, recorre-se ao *Cype* para a recolha manual dos dados necessários à avaliação do P7, P8 e P25 que seriam posteriormente inseridos pelo utilizador no *Excel* de avaliação SBTool^{PT-H} que por sua vez estaria conectado por macros ao SBTool^{BIM} e permitiria obter a classificação final, adotando o mesmo processo que os restantes parâmetros. Esta solução é propícia ao surgimento de diversos problemas, uma vez que requer que o ficheiro *Excel* não sofra qualquer tipo de alterações e que os seus campos de edição estejam bastante realçados, assim como as restantes células bloqueadas. Para além disso, o formulário deve ser devidamente preenchido e colocado na respetiva diretoria.

Desta forma, conclui-se que a integração dos parâmetros P24 e P25 na metodologia SBTool^{BIM} será sempre um processo complexo, trabalhoso e muito limitado.

No caso do parâmetro P24 a sua integração seria menos complicada, no entanto, a obtenção da informação a aplicar na estrutura SBTool^{BIM}, e exige todo um trabalho externo de pesquisa que torna o processo pouco automatizado. Tal deve-se ao facto de apenas o valor de venda do edifício poder ser retirado do modelo, sendo necessário que o utilizador recolha informação externa para a definição dos *benchmarks*. De qualquer das formas, a integração do P24 na estrutura de dados do SBTool^{BIM}, apesar de trabalhosa revela-se bastante exequível.

Relativamente ao P25, este apresenta a possibilidade de ser parcialmente integrado na estrutura SBTool^{BIM}, apresentando algumas limitações. Destas destacam-se a necessidade de conhecimento e acesso à utilização de um *software* externo ao *Revit* de forma a obter a análise energética do modelo, a análise do consumo e reutilização de água, bem como, a estimativa de produção de resíduos. Ademais, destaca-se a necessidade de interoperabilidade do modelo, que pode levar a perdas de dados na partilha de informação. Para além disso, é sempre necessária uma extensa pesquisa referente aos valores dos restantes critérios, que variam de município para município e devem ser integrados no modelo. De um modo geral, a integração do P25 não se apresenta tão exequível, dada a quantidade de informação

externa ao modelo BIM necessária à avaliação, assim como informação especializada de diversas disciplinas. Para além disso, seria expectável a exclusão de informação como análises energéticas, normalmente obtidas em fases mais finais de projeto, uma vez que se pretende que o SBT^{ool}^{BIM} seja uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em fases iniciais de projeto. No entanto, o método de extração *Excel* e conexão com macros apresentado anteriormente, possibilita a utilização dos resultados obtidos nas fases iniciais da avaliação, para efetuar uma avaliação da sustentabilidade completa em fases finais de projeto.

5. CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1. Conclusão

A dissertação teve como principal objetivo a validação de uma estrutura de dados desenvolvida no *Dynamo*, relativa à automatização da avaliação da sustentabilidade com recurso ao SBTTool^{PT-H}. Pretendia-se também alargar tal estrutura, através da elaboração de uma proposta de integração dos parâmetros económicos da metodologia de avaliação da sustentabilidade em estudo.

A metodologia proposta constitui uma abordagem à aplicação da ferramenta de automatização da avaliação – SBTTool^{BIM} – assim como permite um conhecimento de como é conduzido o processo de avaliação na prática, quais as suas barreiras e limitações. Para tal, foi desenvolvido um caso de estudo no *Revit*, no qual 13 dos 25 critérios do SBTTool^{PT-H} foram avaliados e verificados. A proposta foi totalmente validada para todos os critérios – P2, P3, P4, P5, P6, P9, P11, P12, P13, P16, P17, P22 e P23 – embora possa conduzir a resultados ligeiramente diferentes, uma vez que a aplicação ainda não considera alguns detalhes.

No que se refere aos parâmetros P2, P3, P4, P5 e P6 apenas é necessária a introdução dos valores de caracterização do projeto e das topografias, sendo dispensável um *software* adicional ao *Revit*. Relativamente ao P9, P11, P12 e P17 verificou-se que o *Revit* pode fornecer por si só os dados para a avaliação, sendo apenas necessária a caracterização dos materiais quanto aos seus parâmetros compartilhados e aos seus custos. No caso do P16, verificou-se que o utilizador só necessita de caracterizar adequadamente o modelo de forma a extrair os dados necessários para a avaliação. Finalmente, a classificação dos parâmetros P13, P22 e P23 é similar ao processo manual, no entanto com o SBTTool^{BIM} realiza-se apenas o preenchimento de *checklists*, evitando-se os cálculos e integrando estes parâmetros na avaliação global. Portanto, a necessidade de interferência do utilizador passa apenas pela recolha das características locais necessárias, a introdução manual de dados e o preenchimento das *interfaces* geradas pelo *Dynamo*. Relativamente aos parâmetros da dimensão económica P24 e P25, verifica-se a possibilidade da sua integração no SBTTool^{BIM}, no entanto, à semelhança dos parâmetros P7 e P8, requerem ainda recurso a *software* externos. Assim, o P24 é considerado bastante viável, pois a sua integração é menos complexa e todos os seus cálculos são automatizados, porém exige pesquisa externa que torna o processo um pouco trabalhoso. Quanto ao P25, a sua integração não é considerada tão exequível, pois este requer informação específica e externa ao modelo BIM. Por norma, esta

informação é obtida nas fases finais de projeto, distanciando-se do objetivo do SBTTool^{BIM} de ser uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em fases iniciais de projeto.

Conclui-se que os resultados alcançados pelo SBTTool^{BIM} atingiram cenários idênticos aos da avaliação tradicional e que os parâmetros da dimensão ambiental e social avaliados podem ser avaliados com recurso exclusivo ao *Revit*, principalmente os que tratam de dados quantitativos do modelo. Assim compreende-se que a possibilidade de criar parâmetros personalizados permite avaliar uma gama mais ampla de dados.

Desta forma, conclui-se que o SBTTool^{BIM} é uma ferramenta imensamente prática e viável, que proporciona a simplificação do processo de avaliação da sustentabilidade. Todavia constatam-se dificuldades comuns na caracterização do modelo e dos respetivos materiais, assim como a necessidade de conhecimentos BIM e de utilização do *Revit*. No entanto, estas adversidades facilmente são evitadas com a criação de uma base de dados de materiais e bibliotecas *Revit* personalizadas. Apesar das atuais limitações, o SBTTool^{BIM} constitui um sistema indubitavelmente rápido e intuitivo para a avaliação sustentável de edifícios em fases iniciais de projeto de arquitetura, possibilitando a tomada de decisão e promoção de técnicas sustentáveis. Até ao momento tal não era possível face ao tempo e dificuldade no processo tradicional. O SBTTool^{BIM} converte uma metodologia morosa num processo claro e expedito, com um tempo de análise muito reduzido, de 1 a 2 dias. Para além disso, permite a quantificação automática de materiais e dimensões, proporciona o processamento automático das características dos materiais, automatiza o processo de cálculo e possibilita a análise de melhorias propostas. Assim sendo, apesar da avaliação SBTTool^{BIM} ainda não abranger todos os critérios do SBTTool^{PT-H}, permite obter uma indicação clara do nível de sustentabilidade do edifício em fases iniciais de projeto, possibilitando a tomada de decisão e introdução de novas medidas sustentáveis, sem despende demasiados recursos e num curto espaço de tempo. Desta forma, possibilita o alcance de um efetivo aumento da sustentabilidade do edificado, pois promove a introdução e análise de técnicas sustentáveis. Esta ferramenta comprova que as capacidades das plataformas BIM podem ter um papel crucial na melhoria da sustentabilidade dos edifícios e no apoio à certificação de sustentabilidade.

5.2. Perspetivas e Desenvolvimentos Futuros

O BIM comprova-se um caminho essencial para otimizar o desempenho da construção e reduzir os impactos ambientais no futuro da indústria AEC. Desta forma, a integração da metodologia BIM na análise da avaliação da sustentabilidade nos edifícios é um processo de extrema importância e pertinência. Concluindo-se que, de facto, o *framework* SBTTool^{BIM} proposto, pode reduzir significativamente o tempo de avaliação em relação ao processo de avaliação tradicional SBTTool^{PT-H}, estimulando a sua utilização para a obtenção de edifícios mais sustentáveis. Neste seguimento, apresentam-se algumas sugestões a elaborar futuramente por norma a aperfeiçoar a qualidade e o campo de atuação desta aplicação:

- Propõe-se otimização da visualização dos resultados obtidos no SBTTool^{BIM}, bem como a criação de um sistema que permita o armazenamento dos resultados obtidos numa primeira classificação, de forma a possibilitar a comparação de resultados após a introdução de melhorias no modelo *Revit*;
- Recomenda-se a criação de um guia de apoio ao SBTTool^{BIM}, onde se detalhem os princípios de modelação e caracterização do modelo BIM;
- Propõe-se o desenvolvimento de um novo estudo desta aplicação a partir da modelação de edifícios mais complexos e com características diferentes do apresentado;
- Sugere-se a automatização dos restantes critérios de forma a criar um modelo de avaliação da sustentabilidade mais completo e detalhado;
- Recomenda-se a automatização de outras metodologias da sustentabilidade, através de princípios idênticos, aplicáveis a edifícios com diferentes utilizações;
- Por último, sugere-se a automatização da avaliação de áreas urbanas – SBTToolUrban e a adaptação de sistemas SBTTool de outros países.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Y. Li, X. Chen, X. Wang, Y. Xu, and P. H. Chen, “A review of studies on green building assessment methods by comparative analysis,” *Energy Build*, vol. 146, pp. 152–159, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.076.
- [2] L. (ed) Bragança, M. D. (ed) Pinheiro, and R. (ed) Mateus, “Portugal SB13: contribution of sustainable building to meet EU 20-20-20 targets,” p. 934, 2015, Accessed: Feb. 10, 2022. [Online]. Available: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/37340>
- [3] J. K. W. Wong and K. L. Kuan, “Implementing ‘BEAM Plus’ for BIM-based sustainability analysis,” *Autom Constr*, vol. 44, pp. 163–175, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.04.003.
- [4] J. P. Carvalho, L. Bragança, and R. Mateus, “Optimising building sustainability assessment using BIM,” *Autom Constr*, vol. 102, pp. 170–182, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.02.021.
- [5] J. K. W. Wong and J. Zhou, “Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review,” *Automation in Construction*, vol. 57. Elsevier, pp. 156–165, Jun. 26, 2015. doi: 10.1016/j.autcon.2015.06.003.
- [6] “Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões - Um novo Plano de Ação para a Economia Circular Para uma Europa mais limpa e competitiva”, Accessed: Jun. 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>.
- [7] “Como alcançar a economia circular na UE até 2050? | Atualidade | Parlamento Europeu.” <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/priorities/economia-circular/20210128STO96607/como-alcancar-a-economia-circular-na-ue-ate-2050> (accessed Feb. 10, 2022).
- [8] “Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development - A/42/427 Annex, Chapter 2 - UN Documents: Gathering a body of global agreements.” <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm> (accessed Jun. 27, 2022).
- [9] R. Santos, A. A. Costa, J. D. Silvestre, and L. Pyl, “Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction,” *Automation in Construction*, vol. 103. Elsevier B.V., pp. 221–234, Jul. 01, 2019. doi: 10.1016/j.autcon.2019.02.022.

- [10] R. Mateus and L. Bragança, "Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT-H," *Build Environ*, vol. 46, no. 10, pp. 1962–1971, Oct. 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.04.023.
- [11] J. P. Carvalho, L. Bragança, and R. Mateus, "A systematic review of the role of BIM in building sustainability assessment methods," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 13, Jul. 2020, doi: 10.3390/app10134444.
- [12] L. P. N. Sanhudo and J. P. da S. P. Martins, "Building information modelling for an automated building sustainability assessment," *Civil Engineering and Environmental Systems*, vol. 35, no. 1–4, pp. 99–116, Oct. 2018, doi: 10.1080/10286608.2018.1521393.
- [13] J. P. Carvalho, L. Bragança, and R. Mateus, "Sustainable building design: Analysing the feasibility of BIM platforms to support practical building sustainability assessment," *Comput Ind*, vol. 127, May 2021, doi: 10.1016/j.compind.2021.103400.
- [14] J. Ferreira and M. Duarte Pinheiro, "Comparação das ferramentas nacionais de avaliação da sustentabilidade na construção com o BREEAM e o LEED-uma perspetiva energética," 2012.
- [15] M. Almeida, L. Bragança, S. S. P. Silva, R. Mateus, J. Barbosa, and C. Araújo, "Aplicação do Sistema de Avaliação SBToolPT-H na otimização da sustentabilidade de um caso de estudo em Guimarães," 2012. Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21739/1/SREE_Gon%C3%A7alves_Mateus_Bragan%C3%A7a.pdf
- [16] M. Yılmaz and A. Bakış, "Sustainability in Construction Sector," *Procedia Soc Behav Sci*, vol. 195, pp. 2253–2262, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.312.
- [17] Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, *Nosso Futuro Comum*, 2ª Edição. 1987. Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf
- [18] P. B. Cobbinah, R. Black, and R. Thwaites, "Reflections on six decades of the concept of development: Evaluation and future research 3D print a house for development: climate change adaptation in African urban planning View project City Profile of Cape Coast View project reflections on six decades of the concept of development: evaluation and future research," 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/255485564>

- [19] John A. Dixon, E. Lutz, S. M. Argulís, M. Munasinghe, and C. Rees, "Making Development Sustainable From Concepts to Action" In: Nail Serageldin and Andrew Steer, editors with Michael M. ESI) Environmentally Sustainable Development Occasional Paper Series No. 2."
- [20] E. Bernardi, S. Carlucci, C. Cornaro, and R. A. Bohne, "An Analysis of the Most Adopted Rating Systems for Assessing the Environmental Impact of Buildings," 2017, doi: 10.3390/su9071226.
- [21] A. P. Sage, "Risk Management for Sustainable Development." doi: 10.1109/ICSMC.1998.727614.
- [22] *Creating livable, healthy and environmentally viable cities: an Asian perspective: SB07 Hong Kong - the Greater Pearl River Delta (GPRD): [papers from the] Regional Conference on Sustainable Building and Construction, 3-6 December 2007, Hong Kong.* [publisher not identified], 2007.
- [23] "Celebrating the life and contributions of Professor Charles Kibert - CIB." <https://cibworld.org/celebrating-the-life-and-contributions-of-professor-charles-kibert/> (accessed Jun. 27, 2022).
- [24] C. Kibert, "Establishing principles and a model for sustainable construction," Nov. 1994. Accessed: Jun. 27, 2022. [Online]. Available: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC24773.pdf
- [25] Y. Miyatake, "Technology Development and Sustainable Construction," *Journal of Management in Engineering*, vol. 12, no. 4, pp. 23–27, Jul. 1996, doi: 10.1061/(ASCE)0742-597X(1996)12:4(23).
- [26] M. Khalfan *et al.*, "A FRAMEWORK FOR MANAGING SUSTAINABILITY KNOWLEDGE, THE C-SAND APPROACH A process-based Study on Green Retrofit Design and the Integrated, Intelligent and Innovative e-Engineering Service Environment(NSFC China) View project CAPRIKON View project A FRAMEWORK FOR MANAGING SUSTAINABILITY KNOWLEDGE, THE C-SAND APPROACH," 2002. [Online]. Available: <http://unfccc.int/resource/convkp.html>
- [27] C. Aigbavboa, I. Ohiomah, and T. Zwane, "Sustainable Construction Practices: 'a Lazy View' of Construction Professionals in the South Africa Construction Industry," in *Energy Procedia*, 2017, vol. 105, pp. 3003–3010. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.743.
- [28] A. dos Santos, D. Aguirre, and N. Canalli, "O Ciclo de Vida das Edificações," Oct. 2016. Accessed: Nov. 03, 2021. [Online]. Available: <https://doceru.com/doc/5n5nesn>

- [29] P. Sousa and M. P. Amado, “Construção Sustentável-Contributo para a Construção de Sistema de Certificação.” Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: https://docentes.fct.unl.pt/ma/files/artigo_pedro_sousa_cincos_v2.pdf
- [30] Directorate-General for Energy, “Factsheet: Energy Performance in Buildings Directive,” Jan. 2019. Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/buildings_performance_factsheet.pdf
- [31] D. Librelotto and S. Jalali, “Aplicação de uma Ferramenta de Análise do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais-Estudos de Caso,” Jan. 2008, Accessed: Nov. 10, 2021. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/1822/8436>
- [32] E. Meex, A. Hollberg, E. Knapen, L. Hildebrand, and G. Verbeeck, “Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design,” *Build Environ*, vol. 133, pp. 228–236, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.02.016.
- [33] L. Lima, E. Trindade, L. Alencar, M. Alencar, and L. Silva, “Sustainability in the construction industry: A systematic review of the literature,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 289. Elsevier Ltd, Mar. 20, 2021. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125730.
- [34] L. Bragança, R. Mateus, and H. Koukari, “Building sustainability assessment,” *Sustainability*, vol. 2, no. 7, pp. 2010–2023, 2010, doi: 10.3390/su2072010.
- [35] L. M. R. P. M. Bragança, Ed., “Portugal SB13: contribution of sustainable building to meet EU 20-20-20 targets,” Nov. 2013, pp. 505–512.
- [36] “BREEAM - Sustainability Assessment Method.” <https://www.breeam.com/> (accessed Nov. 08, 2021).
- [37] “LEED Online.” <https://www.leedonline.com/> (accessed Nov. 08, 2021).
- [38] “SBTool and SNTTool | International Initiative for a Sustainable Built Environment.” <http://www.iisbe.org/sbmethod> (accessed Nov. 08, 2021).
- [39] “Organization | International Initiative for a Sustainable Built Environment.” <http://iisbe.org/about> (accessed Nov. 08, 2021).
- [40] E. Zarghami, H. Azemati, D. Fatourehchi, and M. Karamloo, “Customizing well-known sustainability assessment tools for Iranian residential buildings using Fuzzy Analytic Hierarchy Process,” 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.11.032.
- [41] “Welcome to the CASBEE web-site!!” <https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm> (accessed Nov. 08, 2021).

- [42] P. Chan, C. Keung, and K. Edmunds, “HK-BEAM: the building environmental performance standard for benchmarking and enhancing sustainable housing,” 2004, Accessed: Nov. 08, 2021. [Online]. Available: www.hk-beam.org
- [43] “Exploring Green Star | Green Building Council of Australia.” <https://new.gbca.org.au/green-star/exploring-green-star/> (accessed Nov. 08, 2021).
- [44] L. Bragança and E. Guimarães, “Introducing the Portuguese Sustainability Assessment Tool for Urban Areas: SBTool PT-Urban Planning.”
- [45] G. de Avaliação, *Guia de Avaliação da Metodologia SBTool PT-H-i Iniciativa Internacional para a Sustentabilidade do Ambiente Construído International Initiative for a Sustainable Built Environment Delegação Portuguesa Portuguese Chapter*. 2015. [Online]. Available: www.iisbeportugal.org
- [46] “SBtool PT | Portugal | Sustentabilidade.” <https://pt.scribd.com/document/37694842/SBtool-PT> (accessed Nov. 30, 2021).
- [47] L. Bragança, C. Araújo, G. Castanheira, J. Amarilio Barbosa, and P. Oliveira, “Approaching sustainability in built environment,” Jan. 2013. Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/275824735_Approaching_sustainability_in_built_environment
- [48] “SBTool PT - Ferramenta para a construção sustentável.” [Online]. Available: www.sbtool-pt.com
- [49] “LiderA – Sistema de avaliação da sustentabilidade.” <http://www.lidera.info/> (accessed Oct. 13, 2021).
- [50] R. F. DORNBUSCH, *Introdução à Economia - Dornbusch, Rudiger Fischer*. 2001. Accessed: Mar. 17, 2022. [Online]. Available: <https://www.fnac.pt/Introducao-a-Economia-dornbusch-rudiger-fischer/a1114069>
- [51] E. Leff, *Discursos Sustentáveis*, Cortez Editora. 2010.
- [52] J. Cifuentes-Faura, “Circular Economy and Sustainability as a Basis for Economic Recovery Post-COVID-19,” *Circular Economy and Sustainability 2021*, pp. 1–7, May 2021, doi: 10.1007/S43615-021-00065-6.
- [53] S. Gürlük, “Economic growth, industrial pollution and human development in the Mediterranean Region,” *Ecological Economics*, vol. 68, no. 8–9, pp. 2327–2335, Jun. 2009, doi: 10.1016/J.ECOLECON.2009.03.001.
- [54] J. Demajorovic, *Sociedade de risco e responsabilidade socioambiental: perspectiva para a educação corporativa*, SENAC. 2001.

- [55] E. B. Barbier and A. Markandya, "A new blueprint for a green economy," *A New Blueprint for a Green Economy*, pp. 1–200, Jan. 2013, doi: 10.4324/9780203097298.
- [56] PNUMA, "Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da Pobreza - Rumo a uma ECOnomiaVERDE PNUMA", Accessed: Mar. 18, 2022. [Online]. Available: www.grida.no
- [57] E. B. Barbier, "The Green Economy Post Rio+20," *Science (1979)*, vol. 338, no. 6109, pp. 887–888, Nov. 2012, doi: 10.1126/SCIENCE.1227360.
- [58] E. Loiseau *et al.*, "Green economy and related concepts: An overview," *J Clean Prod*, vol. 139, pp. 361–371, Dec. 2016, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.08.024.
- [59] L. Mazza, P. ten Brink, and J. Mwaniki, "Green Economy in the European Union. Supporting Briefing, with Support from Fedrigio-fazio, D," 2012, Accessed: Mar. 18, 2022. [Online]. Available: www.unep.org/research4policy
- [60] J. Ehrenfeld and N. Gertler, "Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg," *J Ind Ecol*, vol. 1, no. 1, pp. 67–79, Jan. 1997, doi: 10.1162/JIEC.1997.1.1.67.
- [61] R. Lifset and T. E. Graedel, "Industrial Ecology: goals and definitions," 2002, Accessed: Mar. 22, 2022. [Online]. Available: https://planet.uwc.ac.za/NISL/ESS/Documents/Industrial_Ecology_Overview.pdf
- [62] S. Azeem, M. A. Naeem, A. Waheed, and M. J. Thaheem, "Examining barriers and measures to promote the adoption of green building practices in Pakistan," *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 6, no. 3, pp. 86–100, 2017, doi: 10.1108/SASBE-06-2017-0023/FULL/XML.
- [63] J. Persson and S. Grönkvist, "Drivers for and barriers to low-energy buildings in Sweden," *J Clean Prod*, vol. 109, pp. 296–304, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2014.09.094.
- [64] J. Ferreira, M. D. Pinheiro, and J. de Brito, "Portuguese sustainable construction assessment tools benchmarked with BREEAM and LEED: An energy analysis," *Energy Build*, vol. 69, pp. 451–463, 2014, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2013.11.039.
- [65] M. Duarte Pinheiro, "LiderA SISTEMA VOLUNTÁRIO PARA A SUSTENTABILIDADE DOS AMBIENTES CONSTRUÍDOS", Accessed: Mar. 22, 2022. [Online]. Available: www.lidera.info
- [66] C. M. Eastman, "Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction," *Building Product Models*, Feb. 2018, doi: 10.1201/9781315138671.
- [67] K. E. Cassino *et al.*, "SmartMarket Report McGraw Hill Construction The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information Modeling SmartMarket Report Executive Editor," 2014, Accessed: Dec. 02, 2021. [Online]. Available: www.construction.com

- [68] “O que é a BIM | Modelagem de informação da construção | Autodesk.”
<https://www.autodesk.com.br/solutions/bim> (accessed Dec. 01, 2021).
- [69] K. M. Kensek, *Building Information Modeling*, 1st Edition. London, 2014. doi:
<https://doi.org/10.4324/9781315797076>.
- [70] “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders | Elsevier Enhanced Reader.”
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0926580508001568?token=BA6D53DCB183029DDC60A3AFBF7E06AF1E7D8CEC25A90E16D7D303B01EE474B3F26EFD528A5DC3C749D83B77E493729D&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211201103818> (accessed Dec. 01, 2021).
- [71] D. Krug, M. N. Wierzbicki, M. Wierzbicki, and C. W. de Silva, “BIM-History and Trends,” 2011, Accessed: Jan. 11, 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/259390230_BIM_-_History_and_Trends
- [72] “BIM Implementation – Global Strategies | Elsevier Enhanced Reader.”
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877705814019419?token=E71BF422DF6FC930403FA7D625750349CBC6020537D8A9B50645FB501261B69BCCA158513FA4E349FA76D9DDE59CA8B5&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211111122826> (accessed Nov. 11, 2021).
- [73] Jerry Laiserin, “The LaiserinLetter (tm).”
<http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php> (accessed Dec. 01, 2021).
- [74] H. Penttilä, “DESCRIBING THE CHANGES IN ARCHITECTURAL INFORMATION TECHNOLOGY TO UNDERSTAND DESIGN COMPLEXITY AND FREE-FORM ARCHITECTURAL EXPRESSION,” *Penttila*, vol. 11, 2006, Accessed: Dec. 01, 2021. [Online]. Available: <http://itcon.org/2006/29/>
- [75] “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders | Elsevier Enhanced Reader.”
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0926580508001568?token=7E26A30356B545E5A6F268404BD9AFE21024AFA83978AC4F547A09DB933242B5CB024C62869AD0D2039BBD6D76A36B6E&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211111114309> (accessed Nov. 11, 2021).
- [76] “Challenges of BIM for Construction Site Operations | Elsevier Enhanced Reader.”
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877705815017774?token=55B7B1C9942E23DEEF751728FD2AD8BC5E3227C90898181AD1CA587D959C34B9D83641C7BFBA96768645>

- A45911B673A2&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211111113147 (accessed Nov. 11, 2021).
- [77] S. Azhar, M. Khalfan, and T. Maqsood, "Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond", doi: 10.3316/INFORMIT.013120167780649.
- [78] A. Monteiro de Menezes, M. de Lourdes Silva Viana, M. Lucio Pereira Junior, and S. Ricardo Palhares, "O BIM e os projetos de edificações: adequações e inadequações", Accessed: Nov. 10, 2021. [Online]. Available: http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2011_196.content.pdf
- [79] K. Kensek, "Building Information Modeling in Architecture, Engineering, and Construction: Emerging Research Directions and Trends," *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, Jan. 2010, Accessed: Dec. 20, 2021. [Online]. Available: https://www.academia.edu/23748400/Building_Information_Modeling_in_Architecture_Engineering_and_Construction_Emerging_Research_Directions_and_Trends
- [80] J. Carlos Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, "Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas," 2012. Accessed: Dec. 20, 2021. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/1822/21609>
- [81] "Exploring how information exchanges can be enhanced through Cloud BIM ", Accessed: Dec. 02, 2021. [Online]. Available: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0926580512000180?token=f88ccac2d226b3e6d103c0e2a44676ef89caf2491bbdc92e8831affec86253aa95ed3576224f0e31d43a3ec9f0ea5b0b&originregion=eu-west-1&origincreation=20211202151049>
- [82] First In Architecture, "The Advantages of BIM and its Future." <https://www.firstinarchitecture.co.uk/the-advantages-of-bim-and-its-future/> (accessed Dec. 02, 2021).
- [83] C. M. Eastman, P. M. Teicholz, R. Sacks, and G. Lee, "BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors", Accessed: Dec. 02, 2021. [Online]. Available: <https://www.wiley.com/en-va/BIM+Handbook%3A+A+Guide+to+Building+Information+Modeling+for+Owners%2C+Designers%2C+Engineers%2C+Contractors%2C+and+Facility+Managers%2C+3rd+Edition-p-9781119287551>

- [84] “BIM Guide 04 - 4D Phasing | GSA.” <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/bim-guides/bim-guide-04-4d-phasing> (accessed Dec. 02, 2021).
- [85] S. Azhar, “Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry,” vol. 11, no. 3, pp. 241–252, 2011.
- [86] R. Lopez, H.-Y. Chong, X. Wang, and J. Graham, “Technical Review: Analysis and Appraisal of Four-Dimensional Building Information Modeling Usability in Construction and Engineering Projects,” *J Constr Eng Manag*, vol. 142, no. 5, p. 06015005, May 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001094.
- [87] S. Mubarak, *Construction Project Scheduling and Control Third Edition*. 2015. Accessed: Dec. 02, 2021. [Online]. Available: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=kSu9BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Construction+Project+Scheduling+and+Control+Third+Edition&ots=PlregZNCNd&sig=wz8iz3U6bqk_mldQsx_wdtf_03k&redir_esc=y#v=onepage&q=Construction%20Project%20Scheduling%20and%20Control%20Third%20Edition&f=false
- [88] “BIM & the 5D Project Cost Manager | Elsevier Enhanced Reader”, Accessed: Dec. 02, 2021. [Online]. Available: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877042814021442?token=D76AA9A9A2C48247B9A9B4B7B6DCDF5CF8BFD009521F62C7949BFF734B495B1E45E95D3DD45C4AE3DC8D7A512B18F6C7&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211202165252>
- [89] R. Paper, P. Yung, and X. Wang, “A 6D CAD Model for the Automatic Assessment of Building Sustainability,” *Int J Adv Robot Syst*, 2014, doi: 10.5772/58446.
- [90] “A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability | Elsevier Enhanced Reader.” <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877705815021050?token=8ACDD43D9D561557907C0B7FB3057525B66C965675FCE52BEE8F9CE42841D796BC3DA0F35920EF0D0EB4F1BC46DF1F72&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211202171231> (accessed Dec. 02, 2021).
- [91] J. Bedrick and D. W. Builders, “Organizing the Development of a Building Information Model,” 2008, Accessed: Dec. 02, 2021. [Online]. Available: www.vicosoftware.com
- [92] “practical BIM: What is this thing called LOD.” <http://practicalbim.blogspot.com/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html> (accessed Dec. 02, 2021).

- [93] J. Bedrick, W. Faia, P. E. Ikerd, and J. Reinhardt, "20 20 level of development (LOD) specification part i & commentary For Building Information Models and Data participating organizations Level of Development Specification LOD Spec 2020 Part I For Building Information Models," 2020. [Online]. Available: www.bimforum.org/lod
- [94] "(PDF) Building information modeling (BIM) from the perspective of facilities management (fm) in malaysia." Accessed: Dec. 02, 2021. [Online]. Available : https://www.researchgate.net/publication/261288209_building_information_modeling_bim_from_the_perspective_of_facilities_management_fm_in_malaysia/figures?lo=1
- [95] "ISO - ISO/DIS 7817 - Building information modelling – Level of information need – Concepts and principles." <https://www.iso.org/standard/82914.html?browse=tc> (accessed Dec. 20, 2021).
- [96] J. ; Sun, J. M. Paasch, J. ; Paulsson, V. ; Tarandi, and L. Harrie, "International Federation of Surveyors. Towards Design and Development of a BIM-based 3D Property Formation Process 7th International FIG 3D Cadastre Workshop 11-13," pp. 405–419, 2021.
- [97] "Levels of definition - Technical Support - NBS BIM Toolkit." <https://toolkit.thenbs.com/articles/levels-of-definition/> (accessed Dec. 03, 2021).
- [98] "Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments | Elsevier Enhanced Reader", Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0926580509001733?token=F1FE963223C6C973046F575BC5C909E505FE50BEBB98A8E3777308B4334497958835DFAE42C9098A466495BDA3757674&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220110150520>
- [99] "The IFC Standard - A Review of History, Development, and Standardization", Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/252069448_The_IFC_Standard_-_A_Review_of_History_Development_and_Standardization
- [100] "Everything worth knowing about the IFC format – Bim Corner." <https://bimcorner.com/everything-worth-knowing-about-the-ifc-format/> (accessed Jan. 12, 2022).
- [101] B. Succar, "The Five Components of BIM Performance Measurement", Accessed: Jan. 12, 2022. [Online]. Available: http://bit.ly/AmazonBooks_BIM
- [102] S. G. M. SELDA TOKLU, "The implementation of building information modelling (BIM) in turkey," 2020. Accessed: Jan. 12, 2022. [Online]. Available:

- https://www.researchgate.net/publication/350581296_the_implementation_of_building_information_modelling_bim_in_turkey
- [103] “3º Congresso Português de ‘Building Information Modelling’ (ptBIM 2020),” *3º Congresso Português de ‘Building Information Modelling’ (ptBIM 2020)*, Nov. 2020, doi: 10.24840/978-972-752-272-9.
- [104] YASH PATEL, “BIM Tools, Platforms and Environment.” <https://www.bimtraining.in/post/bim-tools-platforms-and-environment> (accessed Jan. 11, 2022).
- [105] R. C. Ruschel, C. A. Vieira Valente, E. Cacere, and S. R. Souza Leal de Queiroz, “O papel das ferramentas BIM de integração e compartilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil,” *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, vol. 7, no. 3, Dec. 2013, doi: 10.5216/REEC.V7I3.27487).
- [106] R. R. do N. Biller, R. M. Herling, P. L. de Mattos, and R. C. Ruschel, “Classificação de plataformas computacionais quanto aos usos do BIM,” *simpósio brasileiro de tecnologia da informação e comunicação na construção*, vol. 3, no. 00, pp. 1–9, Aug. 2021, doi: 10.46421/sbtic.v3i00.575.
- [107] W. Kymmell, *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations (McGraw-Hill Construction Series)*. McGraw-Hill Education, 2008.
- [108] “Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices - Lincoln H. Forbes, Syed M. Ahmed - Google Livros.” https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=sL2wXr7dPE0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=modern+Construction:+Lean+Project+Delivery+and+Integrated+Practices&ots=X2hKmMmKEB&sig=by7CTjSGjamaDiyq1V9eKwHMxLg&redir_esc=y#v=onepage&q=modern%20Construction%3A%20Lean%20Project%20Delivery%20and%20Integrated%20Practices&f=false (accessed Jan. 26, 2022).
- [109] R. Sacks, L. Koskela, B. A. Dave, and R. Owen, “Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction,” *J Constr Eng Manag*, vol. 136, no. 9, pp. 968–980, Feb. 2010, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203.
- [110] T. L. (Perkins+Will) Ajla Aksamija, “BIM-Based Building Performance Analysis: Evaluation and Simulation of Design Decisions”, Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: <https://www.aceee.org/files/proceedings/2012/data/papers/0193-000367.pdf>
- [111] “CRC for Construction Innovation (2007) Adopting BIM for Facilities Adopting BIM for Facilities Management : Solutions for Managing the Sydney Opera House. (Unpublished))”, Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <http://eprints.qut.edu.au/27582>
- [112] M. Poljanšek, “Building Information Modelling (BIM) standardization”, doi: 10.2760/36471.

- [113] “BIM teaching: current international trends,” *Gestão & Tecnologia de Projetos*, vol. 6, no. 2, pp. 67–80, 2012, doi: 10.4237/GTP.V6I2.218.
- [114] J. P. Couto and A. M. Couto, “Importância da revisão dos projectos na redução dos custos de manutenção das construções.” Accessed: Jan. 12, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/1822/8754>
- [115] “A Sede da Vodafone em Portugal | Engenharia e Construção.” <https://www.engenhariaeconstrucao.com/2011/02/nova-sede-da-vodafone.html> (accessed Jan. 12, 2022).
- [116] “Terminal de Cruzeiros - APDL.” <https://www.apdl.pt/terminal-passageiros-sul> (accessed Jan. 12, 2022).
- [117] I. Motawa and K. Carter, “Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings,” *Procedia Soc Behav Sci*, vol. 74, pp. 419–428, Mar. 2013, doi: 10.1016/J.SBSPRO.2013.03.015.
- [118] M. Solla, L. H. Ismail, and R. Yunus, “Investigation on the potential of integrating bim into green building assessment tools,” vol. 11, no. 4, 2016, Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: www.arpnjournals.com
- [119] S. Azhar, J. W. Brown, and A. Sattineni, “A case study of building performance analyses using building information modeling,” 2010.
- [120] A. Schlueter and F. Thesseling, “Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages,” *Autom Constr*, vol. 18, no. 2, pp. 153–163, Mar. 2009, doi: 10.1016/J.AUTCON.2008.07.003.
- [121] S. Azhar, W. A. Carlton, D. Olsen, and I. Ahmad, “Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis,” *Autom Constr*, vol. 20, no. 2, pp. 217–224, Mar. 2011, doi: 10.1016/J.AUTCON.2010.09.019.
- [122] J. P. Carvalho, M. L. Bragança, and R. Mateus, “Potencial de integração do BIM na simplificação da avaliação de sustentabilidade através do SBTTool PT-H.” Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/1822/47951>
- [123] L. P. Marques, L. M. Santos, and J. P. Couto, “A importância da implementação integrada da filosofia lean construction e do bim para a melhoria da sustentabilidade dos projetos de construção the importance of integrated implementation of lean construction and bim for improving the sustainability of construction projects,” 2015, doi: 10.14684/shewc.15.2015.152-156.

- [124] B. V. Barreto, J. L. G. Sanches, T. L. G. de Almeida, and S. E. C. Ribeiro, “O BIM no cenário de arquitetura e construção civil brasileiro,” *CONSTRUINDO*, 2016, Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/4811>
- [125] J. Basbagill, F. Flager, M. Lepech, and M. Fischer, “Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts,” *Build Environ*, vol. 60, pp. 81–92, Feb. 2013, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2012.11.009.
- [126] M. Röck, A. Hollberg, G. Habert, and A. Passer, “LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages,” *Build Environ*, vol. 140, pp. 153–161, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2018.05.006.
- [127] A. Hollberg, G. Genova, and G. Habert, “Evaluation of BIM-based LCA results for building design,” *Autom Constr*, vol. 109, p. 102972, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.102972.
- [128] R. Santos, A. A. Costa, J. D. Silvestre, and L. Pyl, “Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment,” *Autom Constr*, vol. 103, pp. 127–149, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.02.011.
- [129] J. P. Carvalho, I. Alecrim, L. Bragança, and R. Mateus, “Integrating BIM-based LCA and building sustainability assessment,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 18, Sep. 2020, doi: 10.3390/SU12187468.
- [130] “Life Cycle Assessment (LCA) explained - PRé Sustainability.” <https://pre-sustainability.com/articles/life-cycle-assessment-lca-basics/> (accessed Jan. 26, 2022).
- [131] “What is Facility Management.” <https://www.ifma.org/about/what-is-facility-management/> (accessed Jan. 27, 2022).
- [132] W. Dias, C. Lino, and P. Couto, “Contributo do bim como suporte das fases de manutenção e operação dos edifícios”.
- [133] S. Gandhi and J. Jupp, “BIM and Australian Green Star Building Certification,” *Computing in Civil and Building Engineering - Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, pp. 275–282, 2014, doi: 10.1061/9780784413616.035.
- [134] A. GhaffarianHoseini, D. T. Doan, N. Naismith, J. Tookey, and A. GhaffarianHoseini, “Amplifying the practicality of contemporary building information modelling (BIM) implementations for New Zealand green building certification (Green Star),” *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 24, no. 4, pp. 696–714, 2017, doi: 10.1108/ECAM-02-2016-0043/FULL/PDF.

- [135] T. Ahmad and M. J. Thaheem, “Economic sustainability assessment of residential buildings: A dedicated assessment framework and implications for BIM (1),” *Sustain Cities Soc*, vol. 38, pp. 476–491, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.SCS.2018.01.035.
- [136] R. Mateus, • Luís Bragança, • Rui, J. G. Costa, • João, and C. Bezerra, “Avaliação do custo vs benefício na introdução de medidas de sustentabilidade na reabilitação de edifícios antigos – estudo de caso,” 2015.
- [137] Autodesk, “Rising to new heights with BIM.,” *Autodesk Customer Success Story*. Accessed: Jan. 27, 2022. [Online]. Available: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/products/autodesk-revit-family/docs/pdf/shanghai_tower_story_usletter_template_FY14.pdf
- [138] “World’s second largest building, Shanghai Tower, achieves LEED Platinum | U.S. Green Building Council.” <https://www.usgbc.org/articles/world-s-second-largest-building-shanghai-tower-achieves-leed-platinum> (accessed Jan. 27, 2022).
- [139] J. Sousa, L. Bragança, M. Almeida, and P. Silva, “Research on the Portuguese building stock and its impacts on energy consumption - An average U-value approach,” *Archives of Civil Engineering*, vol. 59, no. 4, pp. 523–546, Dec. 2013, doi: 10.2478/ace-2013-0029.
- [140] “O Parque Habitacional e a sua Reabilitação Análise e Evolução,” 2001. Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=149380925&PUBLICACOESmodo=2&xlang=pt
- [141] R. Gonçalo Cristovão, “O desafio de informar profissionais revista vida imobiliária vidaimobiliaria.com semana da reabilitação urbana lisboa-porto eventos almoços vida imobiliária encontros profissionais vi news serviço jurídico imojuris.com”.
- [142] ADENE - Agência para a energia, “Isolamento de Paredes,” Oct. 2016. Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: <http://www.lxcertificadoenergetico.com/10-solucoes-eficiencia-energetica/>
- [143] F. Branco, J. Ferreira, J. Ramôa Correia Coordenação, F. Branco, J. de Brito, and E. Pedro Vaz Paulo Engº João Ramôa Correia, “A evolução das construções.” Accessed: Feb. 02, 2022. [Online]. Available: <https://docplayer.com.br/69446398-Coordenacao-prof-f-a-branco-prof-jorge-de-brito-eng-o-pedro-vaz-paulo-e-eng-o-joao-pedro-correia.html>
- [144] T. Ferrito, J. Milosevic, and R. Bento, “‘Placa’ building in Bairro de Alvalade. Characterisation, modelling and seismic assessment by means of linear analyses”, Accessed: Feb. 02, 2022.

- [Online]. Available:
http://rpee.Inec.pt/Ficheiros/rpee_serieIII_n03/rpee_slII_n03_pg05_20.pdf
- [145] Observatório da Energia, D. de S. de P. E. e E. DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, and ADENE – Agência para a Energia, “Energia em Números - Edição 2020,” 2020.
- [146] T. : Balanço and E. Sintético, “FICHA TÉCNICA”, Accessed: Feb. 02, 2022. [Online]. Available: www.dgeg.gov.pt
- [147] “Consumo de energia no sector doméstico-2020 resultados preliminares do inquérito ao consumo de energia no sector doméstico 2020.” Accessed: Feb. 02, 2022. [Online]. Available: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=512530049&DESTAQUESmodo=2&xlang=pt
- [148] R. Mateus and L. Bragança, “Sustainability Assessment of an Affordable Residential Building Using the SBToolPT Approach.” Accessed: Nov. 30, 2021. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/1822/12316>
- [149] Município de braga, “Regulamento do PDM Atualizado (agosto 2021).” Accessed: Sep. 06, 2022. [Online]. Available: <https://pdmbraga.cm-braga.pt/index.php>
- [150] Leroy Merlin, “Compostos Organicos Volateis - COV.” www.leroymerlin.pt (accessed Sep. 06, 2022).

ANEXO I

Dimensão Ambiental

P 2

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Densidade urbana

Parâmetro: Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível

Benchmarks

$$\begin{aligned} \text{Melhor Prática: } P_{AUL}^* &= \overset{(P 2.1)}{\boxed{90}} (\%) \\ \text{Prática convencional: } P_{AUL}^* &= \overset{(P 2.2)}{\boxed{50}} (\%) \\ \text{Solução: } P_{AUL} &= \overset{(P 2.3)}{\boxed{194,03}} (\%) \end{aligned}$$

Normalização

$$\overline{P_{AUL}} = (P_{AUL} - P_{AUL}^*) / (P_{AUL}^* - P_{AUL}^*) = \overset{(P 2.4)}{\boxed{3,60}}$$

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{AUL}} > 1,00$	X
A	$0,70 < \overline{P_{AUL}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P_{AUL}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{AUL}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{AUL}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{AUL}} < 0,00$	

Dimensão Ambiental

P 2

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Densidade urbana

Parâmetro: Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível

Cálculos auxiliares

Área Bruta total	
Edifício em estudo	
R/c	78,40m ²
Piso 1	79,00m ²
total	157,40m ²

Cálculo de P _{AUL}	
Área da Parcela	135,20m ²
Área Bruta Total	157,40m ²
IUL	1,16
IUL _{max}	0,60
P _{AUL}	194,03

Dimensão Ambiental

P 3

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Densidade urbana

Parâmetro: Índice de impermeabilização

Benchmarks

<u>Melhor Prática:</u>	(P 3.1) $P_{IMP}^* = $ <input type="text" value="30"/> (%)
<u>Prática convencional:</u>	(P 3.2) $P_{IMP}^* = $ <input type="text" value="60"/> (%)
<u>Solução:</u>	(P 3.3) $P_{IMP} = $ <input type="text" value="76,52"/> (%)

Normalização

$$\overline{P}_{IMP} = (P_{IMP} - P_{IMP^*}) / (P_{IMP^*} - P_{IMP^*}) =$$
 (P 3.4)

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P}_{IMP} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P}_{IMP} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P}_{IMP} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P}_{IMP} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P}_{IMP} \leq 0,10$	
E	$\overline{P}_{IMP} < 0,00$	X

Dimensão Ambiental

P 3

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Densidade urbana

Parâmetro: Índice de impermeabilização

Cálculos auxiliares

Área total da parcela	135,20 m ²
áreas permeáveis	
Gramado frontal	10,30 m ²
Total da área permeável	10,30 m²
áreas impermeabilizadas	
Área do rés-do-chão	78,40 m ²
Acesso frontal	3,60 m ²
Cobertura ajardinada	21,45
Total da área impermeável	103,45 m²

Dimensão Ambiental **P 4**

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Reutilização de solo previamente edificado ou contaminado

Parâmetro: Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada

Benchmarks

(P 4.1)

Melhor Prática: $P_{ACE}^* =$ (%)

(P 4.2)

Prática convencional: $P_{ACE}^* =$ (%)

(P 4.3)

Solução: $P_{ACE} =$ (%)

Normalização

(P 4.4)

$\overline{P_{ACE}} = (P_{ACE} - P_{ACE}^*) / (P_{ACE}^* - P_{ACE}^*) =$

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{ACE}} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P_{ACE}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P_{ACE}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{ACE}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{ACE}} \leq 0,10$	X
E	$\overline{P_{ACE}} < 0,00$	

Dimensão Ambiental**P 4**

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Reutilização de solo previamente edificado ou contaminado

Parâmetro: Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada

Cálculos auxiliares

Áreas	
Edifício em estudo	
A_INT	135,20m ²
A_PCO	2,30m ²

Dimensão Ambiental

P 5

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Uso de plantas autóctones

Parâmetro: Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones

Benchmarks

$$\text{Melhor Prática: } P_{\text{AUT}}^* = \frac{(P 5.1)}{90} (\%)$$

$$\text{Prática convencional: } P_{\text{AUT}^*} = \frac{(P 5.2)}{30} (\%)$$

$$\text{Solução: } P_{\text{AUT}} = \frac{(P 5.3)}{19,36} (\%)$$

Normalização

$$\overline{P_{\text{AUT}}} = (P_{\text{AUT}} - P_{\text{AUT}^*}) / (P_{\text{AUT}}^* - P_{\text{AUT}^*}) = \frac{(P 5.4)}{-0,18}$$

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{\text{AUT}}} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P_{\text{AUT}}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P_{\text{AUT}}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{\text{AUT}}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{\text{AUT}}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{\text{AUT}}} < 0,00$	X

Dimensão Ambiental**P 5**

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Uso de plantas autóctones

Parâmetro: Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones

Cálculos auxiliares

$A_{EV} =$	Área de espaços verdes	53,20 m ²
$A_{EA} =$	Área de espécies autóctones	10,30 m ²

Dimensão Ambiental

P 6

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Efeito de ilha de calor

Parâmetro: Percentagem da área em planta com reflectância igual ou superior a 60%

Benchmarks

	(P 6.1)
<u>Melhor Prática:</u>	$P_{RFL}^* = 90$ (%)
	(P 6.2)
<u>Prática convencional:</u>	$P_{RFL}^* = 40$ (%)
	(P 6.3)
<u>Solução:</u>	$P_{RFL} = 94,30$ (%)

Normalização

$$\overline{P_{RFL}} = (P_{RFL} - P_{RFL}^*) / (P_{RFL}^* - P_{RFL}^*) = 1,09$$

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{RFL}} > 1,00$	X
A	$0,70 < \overline{P_{RFL}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P_{RFL}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{RFL}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{RFL}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{RFL}} < 0,00$	

Dimensão**P 6**

Categoria: C2 - Uso do solo e biodiversidade

Indicador: Efeito de ilha de calor

Parâmetro: Percentagem da área em planta com reflectância igual ou superior a 60%

Cálculos auxiliares

$A_{TOT} =$	Área total da parcela	135,20 m ²
$A_{EV} =$	Área de espaços verdes (total) + Grelha	53,70 m ²
	Painel sandwich aço galvanizado branco	73,80 m ²
	Área com reflectância superior a 60% (A_{RFL})	127,50 m ²
	Percentagem de área em planta com reflectância superior a 60% P_{RFL}	94,30%

Dimensão Ambiental

P 9

Categoria: C4 - Materiais e resíduos sólidos

Indicador: Reutilização de materiais

Parâmetro: Percentagem em custo de materiais reutilizados

Benchmarks

$$\begin{aligned} \text{Melhor Prática:} \quad P_{\text{CREU}}^* &= \overset{\text{(P 9.1)}}{\boxed{15}} (\%) \\ \text{Prática convencional:} \quad P_{\text{CREU}^*} &= \overset{\text{(P 9.2)}}{\boxed{0}} (\%) \\ \text{Solução:} \quad P_{\text{CREU}} &= \overset{\text{(P 9.3)}}{\boxed{0,57}} (\%) \end{aligned}$$

Normalização

$$\overline{P}_{\text{CREU}} = (P_{\text{CREU}} - P_{\text{CREU}^*}) / (P_{\text{CREU}}^* - P_{\text{CREU}^*}) = \overset{\text{(P 9.4)}}{\boxed{0,04}}$$

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P}_{\text{CREU}} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P}_{\text{CREU}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P}_{\text{CREU}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P}_{\text{CREU}} \leq 0,40$	
D	$0,00 < \overline{P}_{\text{CREU}} \leq 0,10$	X
E	$\overline{P}_{\text{CREU}} \leq 0,00$	

Dimensão Ambiental

P 9

Categoria: C4 - Materiais e resíduos sólidos

Indicador: Reutilização de materiais

Parâmetro: Percentagem em custo de materiais reutilizados

Cálculos auxiliares

Custos	
C_REU	960,00 €
C_TOT	167 709,58 €

Dimensão Ambiental

P 11

Categoria: C4 - Materiais e resíduos sólidos

Indicador: Recurso a materiais certificados

Parâmetro: Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados

Benchmarks

(P 11.1)

Melhor Prática: $P_{CER}^* = 5$ (%)

(P 11.2)

Prática convencional: $P_{CER} = 0$ (%)

(P 11.3)

Solução: $P_{CER} = 42,92$ (%)

Normalização

(P 11.4)

$$\overline{P}_{CER} = (P_{CER} - P_{CER^*}) / (P_{CER}^* - P_{CER^*}) = 8,58$$

Avaliação

Nível	Condições	Classificação
A ⁺	$\overline{P}_{CER} > 1,00$	X
A	$0,70 < \overline{P}_{CER} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P}_{CER} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P}_{CER} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P}_{CER} \leq 0,10$	
E	$\overline{P}_{CER} < 0,00$	

Dimensão Ambiental

P 11

Categoria: C4 - Materiais e resíduos sólidos

Indicador: Recurso a materiais certificados

Parâmetro: Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados

Cálculos auxiliares

Custos	
C_CER	1827,34
C_PBO	4257,99

Wall Sweep					
Family and Length	Cost	Largura	Area	Custo/m2	
Wall Sweep: 22,83	20	0,1	2,283	45,66	
Wall Sweep: 1,07	20	0,1	0,107	2,14	
Wall Sweep: 5,88	20	0,1	0,588	11,76	
Wall Sweep: 18,42	20	0,1	1,842	36,84	
Wall Sweep: 14,43	20	0,1	1,443	28,86	
Wall Sweep: 3,67	20	0,1	0,367	7,34	
Wall Sweep: 22,54	20	0,1	2,254	45,08	
Wall Sweep: 16,59	20	0,1	1,659	33,18	
					210,86

Doors			
Family and Type	Qty.	Custo unitário	Custo Total
Door	12	100	1200

Floors		
Family and Type	Custo unitário	Custo/m2
Soalho	28	1616,477
Flutuante	20	1230,65
		2847,127

Dimensão Ambiental **P 12**

Categoria: C4 - Materiais e resíduos sólidos

Indicador: Uso de substitutos de cimento no betão

Parâmetro: Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão

Benchmarks

Melhor Prática: $P_{SUB}^* = \frac{(P\ 12.1)}{30} (\%)$

Prática convencional: $P_{SUB} = \frac{(P\ 12.2)}{-} (\%)$

Solução: $P_{SUB} = \frac{(P\ 12.3)}{25,00} (\%)$

Normalização

$\overline{P}_{SUB} = \frac{(P_{SUB} - P_{SUB^*})}{(P_{SUB}^* - P_{SUB^*})} = \frac{(P\ 12.4)}{0,83}$

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P}_{SUB} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P}_{SUB} \leq 1,00$	X
B	$0,40 < \overline{P}_{SUB} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P}_{SUB} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P}_{SUB} \leq 0,10$	
E	$\overline{P}_{SUB} < 0,00$	

Dimensão Ambiental

P 12

Categoria: C4 - Materiais e resíduos sólidos

Indicador: Uso de substitutos de cimento no betão

Parâmetro: Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão

Cálculos auxiliares

Massa total de ligante		400	kg/m ³
	Cimento	300	kg/m ³
	Cinzas volantes	100	kg/m ³
Paredes da garagem		Lajes	Total
Volume de betão	22,07	73,22	95,29 m ³
	Massa total de ligante	38117	kg
	Cinzas volantes	9529,3	kg

Dimensão Ambiental P 13 Categoria: C4 - Materiais e resíduos sólidos Indicador: Condições de armazenamento de resíduos sólidos durante a fase de utilização do edifício Parâmetro: Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos

Processo de Cálculo Auxiliar

O valor de PRSU é determinado através do preenchimento da Tabela 13.1.

Tabela 13.1: Determinação do valor do Potencial das Condições do Edifício para a Promoção da Separação de Resíduos Sólidos (PRSU)

	critérios	descrição	√	Créditos	Solução
condições no interior	1	Existência de locais no interior adequados à deposição de resíduos recicláveis (ecopontos domésticos)			
	1.1	No interior do edifício está previsto pelo menos um local para a colocação de contentores de resíduos recicláveis e no Mapa de Medições consta a colocação de pelo menos três contentores domésticos que permitem a separação por três tipos de resíduos recicláveis (papel, vidro e embalagens).	x	20	20
	1.2	Os contentores existentes <u>cumprem adicionalmente</u> os seguintes requisitos: a) Nenhum dos compartimentos/ baldes individuais apresenta um volume inferior a 15 litros; b) O volume mínimo total dos contentores é de 18 litros por habitante ¹	x	10	10
	1.3	Está previsto um reservatório para o armazenamento de óleos alimentares usados (oleão).		5	0
	1.4	Está previsto um local para a armazenagem de pilhas usadas (pilhão).		5	0
condições no exterior	2	Local não servido por sistema público de recolha de resíduos recicláveis (ecopontos)			
	2.1	No local não existem contentores exteriores públicos (ecopontos) para a deposição de resíduos recicláveis ou a distância aos ecopontos ou ecocentros é igual ou superior a 500m.		0	0
	2.2	O local não é servido por sistema público de recolha de resíduos recicláveis, mas será servido por um sistema de recolha gerido pela entidade responsável pela gestão do empreendimento.		40	0

	critérios	descrição	√	Créditos	Solução
condições no exterior	3.	Local servido por sistema público de recolha de resíduos recicláveis (ecopontos ou sistema de recolha porta – a – porta)			
	3.1	O local <u>não</u> é servido por um sistema de recolha porta – a – porta de resíduos sólidos urbanos, mas existe nas imediações pelo menos um local público específico para a colocação de resíduos sólidos que permite a separação e armazenagem dos quatro tipos de resíduos em quatro contentores diferentes devidamente identificados (indiferenciado/orgânico), papel, vidro e embalagens), e:			
	3.1.1	Os contentores encontram-se situados a uma distância da porta do edifício superior a 50m e inferior a 500m.	x	10	10
	3.1.2	Os contentores encontram-se situados no máximo a 50m da porta do edifício ou não é satisfeito pelo menos um dos requisitos referidos no critério 3.2.		20	0
	3.2	O local <u>é</u> servido por um sistema de recolha porta – a – porta de resíduos e está previsto no Mapa de Medições e no Projecto de Arquitectura um local no exterior do edifício adequado à colocação dos contentores e pelo menos quatro contentores que respeitam as seguintes condições: a) Deve permitir a separação e armazenamento dos quatro tipos de resíduos, através de quatro contentores diferentes devidamente identificados; b) Nenhum dos contentores individuais deverá ter um volume inferior a 40 litros e a 6,5 litros por habitante; c) O volume total mínimo dos contentores é de 28 litros por habitante ¹ .		30	0
PRSU = Σ =				(P13.3)	40

Nota:

¹ o número de habitantes do edifício ou fogo é estimado de acordo com o número convencional de ocupantes em função da

Dimensão Ambiental

P 13

Categoria: C4 - Materiais e resíduos sólidos

Indicador: Condições de armazenamento de resíduos sólidos durante a fase de utilização do edifício

Parâmetro: Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos

Benchmarks

	(P 13.1)
<u>Melhor Prática:</u>	$P_{RSU}^* = 50$
	(P 13.2)
<u>Prática convencional:</u>	$P_{RSU}^* = 10$
	(P 13.3)
<u>Solução:</u>	$P_{RSU} = 40$

Normalização

$$\overline{P_{RSU}} = (P_{RSU} - P_{RSU}^*) / (P_{RSU}^* - P_{RSU}^*) = 0,75 \quad (P 13.4)$$

Avaliação

Nível	Condições	Foi favor assinalado ao nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{RSU}} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P_{RSU}} \leq 1,00$	X
B	$0,40 < \overline{P_{RSU}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{RSU}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{RSU}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{RSU}} < 0,00$	

Dimensão Social

P 16

Categoria: C6 - Conforto e saúde dos utilizadores

Indicador: Eficiência da Ventilação Natural em espaços interiores

Parâmetro: Potencial de Ventilação Natural

Processo de Cálculo

1. Assinalar, na Tabela 16.1 do processo de cálculo auxiliar, os critérios que foram tidos em consideração no Projecto de Arquitectura e no Projecto Térmico do edifício ou fracção.

- a. Consultar na Tabela 14.2 o valor da previsão do consumo anual de água per capita ($m^3/\text{hab.ano}$) nas bacias de retrete (V_{BR});
- b. Consultar na Tabela 14.2 a previsão do consumo anual de água per

2. Determinar o valor do potencial de ventilação natural (P_{VN}). O valor é obtido através do somatório de créditos correspondentes a cada um dos critérios que são cumpridos no projecto do edifício ou fracção. Para o efeito é ainda necessário considerar os seguintes aspectos:

- a. Um edifício ou fracção que não cumpra o critério 1.1 (pré-requisito legal) não poderá ser classificado através da metodologia SBTTool^{PT-H};
- b. Se for satisfeito o critério 3.1 e/ou o critério 4.1.1, o valor máximo para o P_{VN} será 0;
- c. Não se poderão somar os créditos de sub-critérios pertencentes ao mesmo critério;
- d. Para a avaliação deste parâmetro, não se consideram ventlados mecanicamente os edifícios que apresentem extractores de ar de funcionamento intermitente (por exemplo exaustores na cozinha e/ou extractores nas casas de banho que possam ser desligados);
- e. A taxa de renovação nominal horária do ar (RPH) é calculada segundo a metodologia preconizada na Folha de Cálculo IV.1d do RCCTE (Decreto-Lei nº 80/2006);

Consideram-se espaços habitáveis todas as divisões ou compartimentos da habitação, com excepção de vestíbulos, circulações interiores, instalações sanitárias, arrumos e outros compartimentos de função similar e armários nas paredes;

- g. A percentagem de área habitável onde é possível a ventilação cruzada (P_{ah}) é calculada através da seguinte equação:

$P_{ah} =$

$$A_{h_{tot}}$$

Em que $A_{h_{VC}}$ corresponde à área de todos os compartimentos habitáveis que podem ser atravessados por uma corrente de ar que circula entre duas fachadas paralelas, com comprimento até 5 vezes o pé-direito livre, e de todos os compartimentos habitáveis com aberturas para o exterior em pelo menos duas fachadas contíguas que apresentem dimensões em planta inferiores a 4,5m x 4,5m. $A_{h_{tot}}$ corresponde à área habitável total.

Edifícios multifamiliares

3. Nos edifícios multifamiliares, o processo de cálculo referido nos pontos anteriores é aplicado para a totalidade dos espaços habitáveis que compõem o edifício.

Tabela 16.1: Determinação do valor do Potencial de Ventilação Natural (P_{VN})

Crítério	Descrição	Créditos	Solução
1	Requisito Legal		
1.1	Em todos os espaços habitáveis do edifício ou fracção é cumprida a taxa de renovação nominal mínima de 0,6 renovações por hora prevista no RCCTE	Pré-requisito	√
2	Tipo de ventilação existente		
2.1	É utilizada ventilação mecânica no edifício ou fracção	0	10
2.2	O edifício ou fracção recorre apenas a ventilação natural	10	
3	Aspectos relacionados com as plantas de arquitectura		
3.1	O edifício ou fracção apresenta espaços habitáveis onde não é possível ventilação cruzada e num ou mais desses espaços não é cumprido pelo menos um dos aspectos de concepção referidos anteriormente que potenciam a <u>ventilação natural unilateral</u> .	0	
3.2	De acordo com a análise das plantas de arquitectura do edifício e tendo por base os aspectos enunciados anteriormente, a ventilação natural é eficaz em todos os espaços habitáveis e a <u>percentagem de área habitável onde é possível a ventilação cruzada (PAh)</u> é:		30
3.2.1	Menor do que 25% da área habitável	10	
3.2.2	Superior ou igual a 25% e inferior a 50% da área habitável	20	
3.2.3	Superior ou igual a 50% e inferior a 75% da área habitável	30	
3.2.4	Superior ou igual a 75% da área habitável	40	
4	Área de aberturas para o exterior		
4.1	O edifício ou fracção apresenta uma área de aberturas para o exterior (janelas, portas, grelhas de ventilação, etc.) que é:		
4.1.1	Inferior a 5% da área útil de pavimento.	0	20
4.1.2	Igual ou superior a 5% e inferior a 10% da área útil de pavimento.	10	
4.1.3	Igual ou superior a 10% da área útil de pavimento.	20	
5	Tipo de caixilharias utilizadas nos vãos		
5.1	Todos os espaços habitáveis apresentam pelo menos um vão com grelha de ventilação incorporada na caixilharia ou uma janela ou porta oscilo-batente	20	0
		$P_{VN}^1 = \sum =$ (P16.3)	60

Benchmarks

<u>Melhor Prática:</u>	(P16.1) $P_{VN}^* = $ <input type="text" value="60"/>
<u>Prática convencional:</u>	(P16.2) $P_{VN} = $ <input type="text" value="30"/>
<u>Solução:</u>	(P16.3) $P_{VN} = $ <input type="text" value="60"/> (%)

Normalização

$$\overline{P_{VN}} = (P_{VN} - P_{VN^*}) / (P_{VN}^* - P_{VN^*}) =$$
 (P16.4)

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{VN}} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P_{VN}} \leq 1,00$	X
B	$0,40 < \overline{P_{VN}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{VN}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{VN}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{VN}} < 0,00$	

Dimensão Social

P 16

Categoria: C6 - Conforto e saúde dos utilizadores

Indicador: Eficiência da Ventilação Natural em espaços interiores

Parâmetro: Potencial de Ventilação Natural

Cálculos auxiliares

Créditos	
1.1	pagina 8 do pre-certificado energético
3.2	Ahtot = 85,20 m ²
	Ahvc = 42,50 m ²
	Pah = 49,88 %
4.1	Área útil de pavimento 196,90
	Área de aberturas para o exterior 50,70
	Área envidraçada/área útil de pavimento 25,75%

Dimensão Social

P 17

Categoria: C6 - Conforto e saúde dos utilizadores

Indicador: Toxicidade dos materiais de acabamento

Parâmetro: Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV

Processo de Cálculo

1. Determinar a massa de todos os materiais de acabamento previstos no Mapa de Medições que são susceptíveis de libertar compostos orgânicos voláteis – COV (MTOT). Nesta quantificação são consideradas as tintas, vernizes e derivados de madeira (aglomerado de partículas, aglomerado de fibras – MDF, oriented stand board – OSB, etc, utilizados nos revestimentos, rodapés e mobiliário fixo). A massa é determinada da seguinte forma:

- Tintas e vernizes: de acordo com o número de demãos prevista, superfície a pintar/envernizar e rendimento dos produtos;
- a. Derivados e madeira: em função do tipo de madeiras, volume e respectiva densidade.

2. Calcular a massa de tintas, vernizes e compostos à base de madeira que foram seleccionados pela equipa de projecto com o propósito de apresentarem baixo conteúdo de COV (MCOV). Consideram-se materiais com baixo conteúdo de COV:

- Os produtos derivados da madeira que estejam classificados na classe E1, segundo a norma EN 13986.
- b.

3. Calcular a Percentagem em Peso de Materiais de Acabamento com Baixo Conteúdo de COV (PCOV), através da seguinte equação:

$$P_{cov} = \frac{M_{cov}}{M_{tot}} \times 100 = \boxed{57,53} \quad (\%) \quad (P17.3)$$

Benchmarks

<u>Melhor Prática:</u>	$P_{cov}^* = \boxed{90}$ (P17.1)
<u>Prática convencional:</u>	$P_{cov}^* = \boxed{0}$ (P17.2)
<u>Solução:</u>	$P_{cov} = \boxed{57,53} (\%)$ (P17.3)

Normalização

$$\overline{P_{cov}} = (P_{cov} - P_{cov}^*) / (P_{cov}^* - P_{cov}^*) = \boxed{0,64} \quad (P17.4)$$

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P}_{cov} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P}_{cov} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P}_{cov} \leq 0,70$	X
C	$0,10 < \overline{P}_{cov} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P}_{cov} \leq 0,10$	
E	$\overline{P}_{cov} < 0,00$	

Dimensão Social

P 17

Categoria: C6 - Conforto e saúde dos utilizadores
 Indicador: Toxicidade dos materiais de acabamento
 Parâmetro: Percentagem em peso de materiais de
 acabamento com baixo conteúdo de COV

Cálculos auxiliares

Custos	Un.			COV
	m2	Densidade kg/m2	Kg	g/L
Área das paredes interiores pintadas (Tinta Cináqua)	480	1,17	561,6	22
Área das paredes exteriores pintadas (Tinta nováqua)	360	1,17	421,2	22
Área dos pavimentos em flutuante	62	8,1	502,2	E1
Soalho compósitos multicamada	58	18,90	1096,2	130
M_TOT			2581,20	
M_COV			1485,00	

Dimensão Social

P 22

Categoria: C7 - Acessibilidade

Indicador: Acessibilidade a amenidades

Parâmetro: Índice de acessibilidade a amenidades

Benchmarks

<u>Melhor Prática:</u>	(P 22.1) $P_{AA}^* =$ <input type="text" value="134"/>
<u>Prática convencional:</u>	(P 22.2) $P_{AA^*} =$ <input type="text" value="122"/>
<u>Solução:</u>	(P 22.3) $P_{AA} =$ <input type="text" value="68"/>

Normalização

$$\overline{P_{AA}} = (P_{AA} - P_{AA^*}) / (P_{AA}^* - P_{AA^*}) = \text{$$

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{AA}} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P_{AA}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P_{AA}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{AA}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{AA}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{AA}} < 0,00$	X

Dimensão Social

P 22

Categoria: C7 - Acessibilidade

Indicador: Acessibilidade a amenidades

Parâmetro: Índice de acessibilidade a amenidades

Cálculos auxiliares

CLASSE 1		CLASSE 2		CLASSE 3	
Identificação	Nº Créd	Identificação	Nº Créd	Identificação	
Ponto de recolha de resíduos	10	Talho	1	Ginásio	2
Ecopontos	10	Farmácia	1	Restaurante	4
Mercearia	3	Banco	1	Bombeiros	0
Padaria	9	Zona serviços/industrial/comércio	1	Associação Recreativa	4
Espaços Exteriores Públicos	1	Centro Médico/	1	Local de Oração	4
		Café	8	Marco de Correios	0
		Jardim Infantil	8	Ciclovia	0
		Escola Primária	0	Esquadra de Policia	0
		Escola Secundária	0	Estação de Correios	0
				Centro Comercial	0
Parciais	33		21		14
Total P_{AA}	68				

Dimensão Social

P 23

Categoria: C8 - Sensibilização e educação para a sustentabilidade

Indicador: Formação dos ocupantes

Parâmetro: Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício

Processo de cálculo auxiliar

1. Identificar no Manual do Utilizador do Edifício a existência dos conteúdos listados na Tabela 23.1;
2. Determinar o valor de P_{MU} somado todos os créditos obtidos.
3. Se o pré-requisito não for satisfeito, a sustentabilidade do edifício não poderá ser classificada através da metodologia SBTTool^{PT} - H.

Tabela 23.1: Determinação do valor do índice (P_{MU}) em função do conteúdo do Manual de Utilizador do Edifício

		Descrição	√	Créditos	Solução
Pré-Requisito	1	Requisito Legal A Ficha Técnica da Habitação encontra-se disponível e o conteúdo está de acordo com o modelo apresentado na Portaria nº 817/2004	√	Pré-requisito	√
	2	Comunicação das Medidas Adoptadas É realizado um sumário das medidas de projecto que foram adoptadas de forma a melhorar a sustentabilidade do edifício. Para cada uma dessas medidas devem ser apresentadas as principais razões que levaram à sua adopção (p.e. ambientais, económicas e restrições existentes) e, no caso dessas medidas contemplarem a integração de tecnologias activas, é necessário especificar para cada uma delas o modo como se utilizam correctamente. As medidas aqui descritas poderão abordar, entre outros, o desenho solar passivo, sistemas de recuperação de calor, colectores solares para aquecimento da água ou do ar, materiais certificados, sistemas fotovoltaicos, caixilharias de corte térmico e ventilação natural.	√	15	15
	3	Energia Existe informação suficiente acerca do modo como operar correctamente os equipamentos fixos do edifício,	√	25	0

	<p>incluindo os requisitos de manutenção para que a sua operação não esteja associada a consumos de energia mais elevados do que o esperado. Neste capítulo deverá ainda haver um conjunto de instruções, redigidas de uma forma que seja facilmente compreendida pelos utilizadores/ocupantes, que incluam:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Informações relacionadas com a utilização e manutenção de cada sistema ou equipamento fixo instalado, para que se obtenha o maior proveito dos mesmos a um nível mínimo de consumo de energia ou de combustível. As instruções deverão estar relacionadas com os sistemas particulares de cada fracção e deverão ainda incluir o manual do fabricante; · Instruções que expliquem aos ocupantes como deverão utilizar os sistemas de uma forma eficiente. Estas deverão incluir: a necessidade de se efectuarem ajustes sazonais nas configurações de controlo e a descrição da manutenção de rotina que é necessária para manter a eficiência de funcionamento durante o período de vida esperado; · Explicações acerca dos sistemas instalados que permitem a produção e energia a partir de fontes renováveis e do modo como devem ser utilizados; · Informações relacionadas com soluções de iluminação artificial de baixo consumo, referindo, por exemplo, a quantidade de energia que estas soluções permitem poupar em comparação com as soluções convencionais e as vantagens relacionadas com a redução dos custos energéticos; · Informações relacionadas com o Sistema Europeu de Rotulagem Energética dos Electrodomésticos; · Conteúdos de carácter geral relacionadas com a eficiência energética e vantagens associadas. 			
4	Água	√	20	0

	<p>Existe um conjunto de informação com o objectivo de sensibilizar os utilizadores do edifício para a importância de poupar água e de os ajudar a utilizar de forma eficiente os dispositivos instalados, incluindo:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Dicas de carácter geral que possibilitam a poupança de água (p.e. tomar duche em vez de banho de imersão, não deixar a torneira aberta enquanto se escova os dentes, etc); · Detalhes acerca dos dispositivos instalados que permitem menor consumo de água nas aplicações no interior do edifício (p.e. indicação da quantidade de água que é poupada através de soluções com, por exemplo, torneiras com arejadores, autoclismos com dupla descarga e chuveiros de baixo fluxo; · Informações relacionadas com uso eficiente da água nos espaços exteriores, nomeadamente com a utilização e manutenção dos sistemas que permitam a reutilização e utilização de água não potável. 			
5	<p>Resíduos e Reciclagem</p> <p>Resumem-se informações relacionadas com os sistemas de separação relacionados com os sistemas de separação e recolha de resíduos existentes, nomeadamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Informação de carácter geral acerca dos resíduos domésticos que poderão ser reciclados e dos locais adequados para a sua deposição; · Informação relacionada com os locais previstos no interior do edifício para a deposição dos diversos tipos de resíduos domésticos (se existirem); · Informação relacionada com o sistema de recolha de resíduos "porta-a-porta" (se existir), nomeadamente o horário das recolhas (selectiva e indiferenciada); · Se não existir sistema "porta-a-porta", detalhes relacionados com a localização dos contentores e ecopontos exteriores que servem o edifício; · Informação acerca da localização e utilização de locais para a compostagem de resíduos orgânicos (se existirem). 	√	10	0
6	<p>Manutenção e Remodelação Sustentáveis</p>	x	5	0

Conteúdos relacionados com o edifício		Existe um conjunto de informações acerca das medidas de carácter geral que devem ser adoptadas nas operações de manutenção e remodelação para que as mesmas contribuam para a sustentabilidade do edifício, como por exemplo, vantagens relacionadas com a utilização de produtos com baixo conteúdo de compostos orgânicos voláteis (VOC), madeira certificada, materiais com elevado conteúdo reciclado, etc..			
	7	Resíduos e Reciclagem O manual tem informações sobre o que fazer com os resíduos não abrangidos pela recolha indiferenciada e selectiva existente nomeadamente, electrodomésticos ou outros equipamentos, pilhas, baterias e outros. Para o efeito deve-se fornecer a localização e horário de funcionamento do Ecocentro mais próximo.	√	3	0
	8	Transportes Públicos Sumaria-se um conjunto de informações que potenciam a utilização de meios de transportes alternativos ao automóvel privado, nomeadamente: <ul style="list-style-type: none"> · Detalhes dos sistemas locais de transporte público, incluindo mapas, horários e localização das paragens de autocarro/eléctrico e das estações do comboio/metro mais próxima; · Mapa da rede de ciclovia e dos parques de estacionamento de bicicletas existentes no aglomerado urbano em que o edifício se insere (se existirem); · Informações relativas ao estacionamento de automóveis junto às paragens de transportes públicos; · Informações acerca de como chegar às principais amenidades locais utilizando transportes públicos ou a bicicleta. 	√	10	0
	9	Amenidades Locais Existem um conjunto de informações relacionadas com as amenidades locais, nomeadamente: <ul style="list-style-type: none"> · Localização de supermercado(s) e/ou hipermercado(s), padaria(s), café(s), infantário(s), escola(s), caixa(s), de multibanco, banco(s), farmácia(s), parque(s), infantil(is) e de outros espaços públicos de lazer; · Localização de locais de interesse com valor cultural, natural, paisagístico ou outro. 	√	5	0
	10	Padrões de Consumo Responsável	√	5	0

Conteúdos relacionados com o local e a envolvente		O manual inclui informações de carácter geral relacionadas com a aquisição de bens e serviços mais sustentáveis, incluindo: <ul style="list-style-type: none"> · Electrodomésticos mais eficientes a nível energético e de consumo de água; · Lâmpadas de menor consumo energético; · Produtos de madeira proveniente de florestas sustentáveis; · Produtos alimentares de agricultura biológica, mercado de agricultores. 			
	11	Informação de Emergência O manual reúne em capítulo próprio, a localização e o número de telefone de: <ul style="list-style-type: none"> · Centro de saúde/Clinica mais próximo; · Hospital mais próximo com urgência abertas 24h por dia; · Urgências Pediátricas mais próximas abertas 24h por dia; · Posto da PSP/GNR mais próximo; · Quartel de Bombeiros mais próximo. 	√	2	0
			$P_{MU} = \sum =$	(P23.3)	15

Nota:

Se não for cumprido o pré-requisito, a sustentabilidade do edifício não poderá ser avaliada através da metodologia SBToolPT - H.

Benchmarks

<u>Melhor Prática:</u>	$P_{MU}^* =$	(P 23.1) 75
<u>Prática convencional:</u>	$P_{MU}^* =$	(P 23.2) 15
<u>Solução:</u>	$P_{MU} =$	(P 23.3) 15

Normalização

$$\overline{P_{CCV}} = (P_{MU} - P_{MU}^*) / (P_{MU}^* - P_{MU}^*) = \text{0,00} \quad (\text{P 23.4})$$

Avaliação

Nível	Condições	Por favor assinale o nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P}_{MU} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P}_{MU} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P}_{MU} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P}_{MU} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P}_{MU} \leq 0,10$	X
E	$\overline{P}_{MU} < 0,00$	