

ANÁLISE COMPARATIVA DA SUSTENTABILIDADE DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Edifício de apoio à prática náutica como caso de
estudo

FERNANDO MENDES DE PAULA PESSOA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS



Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JULHO DE 2021

MESTRADO EM PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021*.

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

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

À minha esposa, Vivy.

Eu posso não ter ido para onde eu pretendia ir, mas eu acho que acabei terminando onde eu pretendia estar.

Douglas Adams

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa, Vivy, por sempre estar ao meu lado com carinho e paciência me incentivando a ser sempre a melhor versão de mim mesmo. Aos meus pais, Fernando e Vera, à minhas irmãs Rebeca e Livia e às minhas avós Marlene e Nilza, que são minha base e fonte de inspiração diária.

À minha orientadora, Professora Helena Corvacho, pela orientação, paciência e apoio durante a execução deste trabalho.

Aos professores do MPRINCE por todo conhecimento oferecido, em especial ao Professor Jorge Moreira da Costa e à Professora Bárbara Rangel pela orientação no projeto que deu origem ao caso de estudo abordado na presente dissertação.

Aos meu colegas, Kashmir Soares, Matheus Karl e Rodrigo Zamin, que desenvolveram comigo o projeto do Ponto de Apoio à Prática Náutica, e que, juntamente com nossos outros colegas do MPRINCE transformaram horas de estudo e trabalho em boas memórias que carregarei sempre comigo.

RESUMO

Desde o final do século XX, diversas ferramentas de avaliação de sustentabilidade na construção foram desenvolvidas com intuito de promover práticas construtivas menos danosas ao meio ambiente. É necessário, porém, que o uso dessas ferramentas seja popularizado, sendo adotado por profissionais da construção civil para além da área acadêmica. Dessa forma foram desenvolvidas em Portugal duas metodologias que permitem que seja feita essa avaliação de sustentabilidade utilizando informações possíveis de serem encontradas em documentos técnicos publicados por fabricantes de materiais de construção, o método MARS-SC e a metodologia SBTool^{PT}.

No presente trabalho, foi feita a aplicação de uma metodologia baseada nos métodos supracitados em um caso de estudo de um edifício de ponto de apoio à prática náutica. Foi avaliada a sustentabilidade das soluções construtivas para cobertura, pavimento e fachada do edifício, baseada em 20 parâmetros ambientais, funcionais e econômicos. A obtenção dos dados utilizados na avaliação de sustentabilidade se deu por meio de declarações ambientais de produto e fichas técnicas disponibilizadas por fabricantes de materiais de construção civil, ou por operadores de programas de desenvolvimento de declarações ambientais de produto

Com a aplicação da metodologia, determinou-se que das soluções construtivas originalmente projetadas para o edifício, somente a de fachada era a mais sustentável entre as soluções construtivas analisadas.

Percebeu-se também, na execução do presente trabalho, que por mais que fabricantes publiquem informações técnicas de seus produtos, a falta de uniformidade desses documentos dificulta que sejam feitas comparações entre diferentes soluções construtivas.

PALAVRAS-CHAVE: avaliação de sustentabilidade, MARS-SC, SBTool^{PT}, declaração ambiental de produto, soluções construtivas.

ABSTRACT

Since the end of the 20th century, several construction sustainability assessment tools have been developed with the aim of promoting construction practices that are less harmful to the environment. It is necessary, however, that the use of these tools become popular, being adopted by civil construction professionals beyond the academic area. In this manner, two methodologies were developed in Portugal that allow this sustainability assessment to be carried out with the use of information that can be found in technical documents published by construction material manufacturers, the MARS-SC method and the SBTool^{PT} method.

In this work, a methodology, based on the two methods mentioned above, was applied in a case study of a support module for the practice of nautical sports. The sustainability of construction materials for the building's roof, floor and façade was evaluated, based on 20 environmental, functional, and economic parameters. The data used in the sustainability assessment was obtained through environmental product declarations (EPDs) and technical sheets made available by manufacturers of civil construction materials, or by operators of programs for the development of environmental product declarations.

Applying the methodology, it was determined that, of the constructive solutions originally designed for the building, only the façade was considered the most sustainable among the constructive solutions analyzed.

It was also noticed, that even though manufacturers publish technical information about their products, the lack of standardization of these documents makes it difficult to make comparisons between different constructive solutions.

KEY-WORDS: sustainability assessment, MARS-SC, SBTool^{PT}, environmental product declarations, EPD, construction materials.

Índice Geral

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento Geral	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia.....	2
1.4 Organização	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1.Avaliação do Ciclo de Vida	5
2.2.Declaração Ambiental de Produto	7
2.3.Metodologia de Avaliação da Sustentabilidade	12
2.3.1. Sustainable Building Tool (SBTool).....	12
2.3.2.Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC).....	16
3. CASO DE ESTUDO	21
3.1 Introdução	21
3.2 Conceção	22
3.3 Materiais.....	23
3.3.1. Estrutura	24
3.3.2. Cobertura.....	24
3.2.3. Fachada.....	25
3.2.4. Pavimento.....	25
4. METODOLOGIA	27
4.1.Considerações Iniciais.....	27
4.2.Dimensão Ambiental.....	28
4.3.Dimensão Funcional	31
4.3.1. Indicadores comuns a todas as soluções construtivas analisadas.....	31

4.3.2. Indicadores de soluções construtivas para revestimento de cobertura	32
4.3.3. Indicadores de soluções construtivas para pavimento	34
4.3.4. Indicadores de soluções construtivas para revestimentos de fachada	35
4.4. Dimensão Econômica.....	35
4.5. Normalização dos Indicadores	37
4.5. Nível de Sustentabilidade Global	38
4.5. Análise dos resultados	39

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

41

5.1. Introdução	41
5.2. Soluções construtivas de cobertura	41
5.2.1. Painel sandwich de cobertura (PUR) 40 mm (SP)	43
5.2.2. Painel sandwich de cobertura (PIR) 40 mm (SA)	46
5.2.3. Painel sandwich de cobertura (lã de rocha) 40 mm (SB)	49
5.2.4. Painel sandwich MDF/OSB com isolamento em XPS 40 mm (SC)	52
5.2.5. Painel sandwich MDF/MDF com isolamento em XPS 40 mm (SD)	55
5.2.6. Painel sandwich MDF/CM com isolamento em XPS 40 mm (SE)	58
5.2.7. Classificação das soluções construtivas estudadas para cobertura	61
5.3. Soluções construtivas de pavimento	62
5.3.1. Painel compósito cimento madeira 19 mm (SP)	64
5.3.2. Painel MDF hidrófugo 19 mm (SA)	66
5.3.3. Painel OSB 19 mm (SB)	69
5.3.4. Deck compósito plástico madeira (WPC) maciço (SC)	72
5.3.5. Deck compósito plástico madeira (WPC) alveolar (SD)	75
5.3.6. Classificação das soluções construtivas estudadas para pavimento	78
5.4. Soluções construtivas de fachada	79
5.4.2. Painel sandwich de fachada (PUR) 50 mm (SP)	81
5.4.2. Painel sandwich de fachada (PIR) 50 mm (SA)	84
5.4.3. Painel sandwich de fachada lã de rocha 50 mm (SB)	87
5.4.4. Solução composta painel cimento madeira + XPS + painel MDF hidrófugo (SC)	90
5.4.5. Solução composta painel cimento com malha de fibra de vidro + XPS + painel MDF hidrófugo (SD)	93
5.4.6. Solução composta painel cimento madeira + lã de rocha + painel MDF hidrófugo (SE)	96

5.4.7. Solução composta painel cimento com malha de fibra de vidro + lã de rocha + painel MDF hidrófugo (SF).....	99
5.4.8. Classificação das soluções construtivas estudadas para fachada	102

6. CONCLUSÃO	105
---------------------------	------------

6.1 Avaliação Global	105
-----------------------------------	------------

6.2 Sugestões para trabalhos futuros	106
---	------------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
---	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Destruição causada por inundação em cidade alemã.	1
Fig. 2 - Fases do ciclo de vida de um material.....	6
Fig. 3 - Etapas a serem seguidas na produção de uma EPD.....	9
Fig. 4 - Extrato da EPD de um painel de cimento Aquapanel da Knauf	11
Fig. 5 - Etapas da avaliação segundo o método SBToolPT.	13
Fig. 6 - Selo indicativo de desempenho de sustentabilidade global de um edifício segundo a metodologia SBToolPT	16
Fig. 7 - Representação de perfil sustentável de uma solução estudada para um pavimento sobre a solução de referência.	18
Fig. 8 - Modelo 3D dos edifícios que compõe o Ponto de Apoio à Prática Náutica.	21
Fig. 9 - Planta baixa do edifício analisado no caso de estudo	22
Fig. 10 - Distribuição das boias do sistema flutuantes sob o edifício.	23
Fig. 11 - Painel sanduiche de cobertura com 5 ondas.....	24
Fig. 12 - Painel sanduíche de fachada a imitar madeira aplicado em um edifício.....	25
Fig. 13 - Casa de banho com pavimento em painel compósito de cimento e madeira.	26
Fig. 14 - As três dimensões da construção sustentável.....	27
Fig. 15 - Resultados de impacto ambiental apresentados em uma EPD divididos em estágios do ciclo de vida do material.	29
Fig. 16 - Informações sobre coeficiente de transmissão térmica (U) presentes em ficha técnica de painel sanduíche de cobertura.....	31
Fig. 17 - Informações sobre sobrecarga máxima aplicável presentes em ficha técnica de painel sanduíche de cobertura.....	33
Fig. 18 - Características mecânicas apresentadas na ficha técnica de aglomerado de fibras de média densidade (MDF).....	34
Fig. 19 - Exemplo de composição de preço obtida no Gerador de Preços.	36
Fig. 20 - Sobreposição das representações gráficas do desempenho sustentável de uma solução construtiva alternativa para fachada (em laranja) e da solução projetada (em azul tracejado).	40
Fig. 21 - Perfil de sustentabilidade da solução projetada para cobertura.....	45
Fig. 22 - Perfil de sustentabilidade da solução estudada em painel sandwich de cobertura 40 mm (PIR) (em laranja) sobre a solução de projeto (em azul tracejado).....	48
Fig. 23 - Perfil de sustentabilidade da solução em painel sandwich com isolamento em lã de rocha com 40 mm de espessura (em laranja) sobre o perfil da solução projetada (em azul tracejado).....	51
Fig. 24 - Perfil de sustentabilidade da solução em painel sandwich de madeira MDF/OSB (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)	54

Fig. 25 - Perfil de sustentabilidade do painel sandwich MDF/MDF com isolamento XPS 40 mm (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado).....	57
Fig. 26 - Perfil de sustentabilidade do painel sandwich MDF/CM com isolamento XPS 40 mm (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado).....	60
Fig. 27 - Perfil de sustentabilidade do painel cimento madeira 19 mm como solução para pavimento	65
Fig. 28 - Perfil de sustentabilidade do painel MDF hidrófugo 19 mm (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado)	68
Fig. 29 - Perfil de sustentabilidade do painel OSB 19 mm (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado)	71
Fig. 30 - Perfil de sustentabilidade do deck WPC maciço (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado)	74
Fig. 31 - Perfil de sustentabilidade do deck WPC alveolar (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado)	77
Fig. 32 - Perfil de sustentabilidade da solução de projeto para a fachada	83
Fig. 33 - Perfil de sustentabilidade do painel sandwich de fachada com isolamento em PIR com 50 mm de espessura (laranja) sobre a solução construtiva projetada (em azul tracejado)	86
Fig. 34 - Perfil de sustentabilidade da solução construtiva painel sandwich de fachada com isolamento em lã de rocha (em laranja) sobre o perfil da solução de projeto (em azul tracejado)	89
Fig. 35 - Perfil de sustentabilidade da solução composta painel CM + XPS + painel MDF (em laranja) sobre perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)	92
Fig. 36 - Perfil de sustentabilidade da solução composta painel cimento com fibra de vidro + XPS + painel MDF (em laranja) sobre perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado) ..	95
Fig. 37 - Perfil de sustentabilidade da solução composta painel CM + lã de rocha + painel MDF (em laranja) sobre perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)	98
Fig. 38 - Perfil de sustentabilidade da solução composta painel cimento com fibra de vidro + lã de rocha + painel MDF (em laranja) sobre perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)	101

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Programas de desenvolvimento de Declarações Ambientais de Produto.....	8
Quadro 2 - Indicadores ambientais de produto.....	10
Quadro 3 - Categorias e indicadores considerados na metodologia SBToolPT e seus respectivos pesos	14
Quadro 4 - Conversão dos parâmetros quantitativos normalizados em notas qualitativas.....	15
Quadro 5 - Parâmetros utilizados na metodologia MARS-SC por Mateus (2004)	17
Quadro 6 - Avaliação das comparações realizadas no método de MARS	17
Quadro 7 - Pesos atribuídos aos indicadores ambientais.	19
Quadro 8 - Peso de cada dimensão na quantificação do nível global de sustentabilidade.	19
Quadro 9 - Categorias e indicadores analisados na dimensão ambiental	30
Quadro 10 - Categorias e indicadores analisados na dimensão funcional para revestimentos de cobertura	34
Quadro 11 - Categorias e indicadores analisados na dimensão funcional para pavimentos.....	35
Quadro 12 - Categorias e indicadores analisados na dimensão funcional para revestimentos de fachada	35
Quadro 13 - Categorias e indicadores analisados na dimensão econômica.....	36
Quadro 14 - Exemplo de melhor prática (em negrito) e pior prática (em sombreado) para normalização	38
Quadro 15 - Peso de cada dimensão no cálculo do nível de sustentabilidade global.....	39
Quadro 16 - Dados das soluções construtivas analisadas para revestimentos de cobertura	42
Quadro 17 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de cobertura 40 mm (PUR).....	44
Quadro 18 - Desempenho de sustentabilidade do painel sandwich de cobertura 40 mm (PUR) para cada categoria analisada	45
Quadro 19 - Nível de desempenho da solução projetada para cobertura	46
Quadro 20 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de cobertura 40 mm (PIR)	47
Quadro 21 - Desempenho de sustentabilidade do painel sandwich de cobertura 40 mm (PIR) para cada categoria analisada	48
Quadro 22 - Nível de desempenho do painel sandwich (PIR) 40 mm para cobertura	49
Quadro 23 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de cobertura 40 mm com isolamento em lã de rocha	50
Quadro 24 - Desempenho em cada categoria do painel sandwich de cobertura 40 mm com isolamento em lã de rocha.....	51

Quadro 25 - Nível de desempenho do painel sandwich de cobertura com isolamento em lã de rocha (40mm)	52
Quadro 26 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de madeira MDF/OSB com isolamento XPS 40 mm	53
Quadro 27 - Desempenho em cada categoria do painel sandwich MDF/OSB com isolamento XPS 40 mm.....	54
Quadro 28 - Nível de desempenho do painel sandwich MDF/OSB com 40 mm de isolamento em XPS	55
Quadro 29 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de madeira MDF/MDF com isolamento XPS 40 mm	56
Quadro 30 - Desempenho em cada categoria do painel sandwich MDF/MDF com isolamento XPS 40 mm.....	57
Quadro 31 - Nível de desempenho da solução em painel sandwich de madeira MDF/MDF com isolamento em XPS 40 mm.....	58
Quadro 32 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de madeira MDF/CM com isolamento XPS 40 mm	59
Quadro 33 - Desempenho em cada categoria do painel sandwich MDF/CM com isolamento XPS 40 mm	60
Quadro 34 - Nível de desempenho da solução em painel sandwich de madeira MDF/CM com isolamento em XPS 40 mm	61
Quadro 35 - Classificação das soluções construtivas para cobertura em relação ao nível global de sustentabilidade.....	62
Quadro 36 - Dados das soluções construtivas analisadas para pavimento	63
Quadro 37 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel cimento madeira 19 mm.....	64
Quadro 38 - Desempenho de sustentabilidade do painel CM 19 mm para cada categoria analisada.	65
Quadro 39 - Nível de desempenho painel CM 19 mm.....	66
Quadro 40 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel MDF hidrófugo 19 mm	67
Quadro 41 - Desempenho de sustentabilidade do painel MDF hidrófugo 19 mm para cada categoria analisada	68
Quadro 42 - Nível de desempenho painel MDF hidrófugo 19 mm	69
Quadro 43 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel OSB 19 mm	70
Quadro 44 - Desempenho de sustentabilidade do painel OSB 19 mm para cada categoria analisada	71
Quadro 45 - Nível de desempenho painel OSB 19 mm.....	72
Quadro 46 - Valores normalizados para cada indicador para a solução deck WPC maciço	73
Quadro 47 - Desempenho de sustentabilidade do deck WPC maciço para cada categoria analisada	74
Quadro 48 - Nível de desempenho do deck WPC maciço	75

Quadro 49 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de deck WPC alveolar	76
Quadro 50 - Desempenho de sustentabilidade do deck WPC alveolar para cada categoria analisada	77
Quadro 51 - Nível de desempenho do deck WPC alveolar	78
Quadro 52 - Classificação das soluções construtivas para pavimento em relação ao nível global de sustentabilidade.....	78
Quadro 53 - Dados das soluções construtivas analisadas para revestimentos de fachada	80
Quadro 54 - Valores normalizados para cada indicador para a solução projetada para a fachada.....	82
Quadro 55 - Desempenho de sustentabilidade painel sandwich de fachada (PUR) 50 mm para cada categoria analisada	83
Quadro 56 - Nível de desempenho do painel sandwich de fachada (PUR)	84
Quadro 57 - Valores normalizados para cada indicador para painel sandwich de fachada 50 mm (PIR)	85
Quadro 58 - Desempenho de sustentabilidade painel sandwich de fachada (PIR) 50 mm para cada categoria analisada	86
Quadro 59 - Nível de desempenho do painel sandwich de fachada (PIR) com 50 mm de espessura	87
Quadro 60 - Valores normalizados para cada indicador para painel sandwich de fachada em lã de rocha (50 mm)	88
Quadro 61 - Desempenho de sustentabilidade painel sandwich de fachada (lã de rocha) 50 mm de espessura para cada categoria analisada	89
Quadro 62 - Nível de desempenho do painel sandwich de fachada (lã de rocha) com 50 mm de espessura.....	90
Quadro 63 - Valores normalizados para cada indicador para solução composta de painel cimento madeira + XPS (50 mm) + painel MDF hidrófugo	91
Quadro 64 - Desempenho de sustentabilidade da solução composta (CM + XPS + painel MDF) estudada para cada categoria analisada	92
Quadro 65 - Nível de desempenho da solução composta painel CM + XPS + painel MDF.....	93
Quadro 66 - Valores normalizados para cada indicador para solução composta de painel cimento com malha de fibra de vidro + XPS (50 mm) + painel MDF hidrófugo	94
Quadro 67 - Desempenho de sustentabilidade da solução composta painel cimento com malha de fibra de vidro + XPS + MDF para cada categoria analisada.....	95
Quadro 68 - Nível de desempenho da solução composta painel cimento com fibra de vidro + XPS + painel MDF	96
Quadro 69 - Valores normalizados para cada indicador para solução composta de painel cimento madeira + lã de rocha (50 mm) + painel MDF hidrófugo	97
Quadro 70 - Desempenho de sustentabilidade da solução composta (painel CM + lã de rocha + painel MDF) estudada para cada categoria analisada	98
Quadro 71 - Nível de desempenho da solução composta painel CM + lã de rocha + painel MDF	99

Quadro 72 - Valores normalizados para cada indicador para solução composta de painel cimento com malha de fibra de vidro + lã de rocha (50 mm) + painel MDF hidrófugo.....	100
Quadro 73 - Desempenho de sustentabilidade em cada categoria analisada para a fachada composta estudada (painel cimento com malha de fibra de vidro + lã de rocha (50 mm) + painel MDF)	101
Quadro 74 - Nível de desempenho da solução composta de painel cimento com fibra de vidro, isolamento em lã de rocha com 50mm de espessura e painel MDF hidrófugo	102
Quadro 75 - Classificação das soluções construtivas para fachada em relação ao nível global de sustentabilidade.....	103
Quadro 76 - Melhores soluções construtivas dentre as avaliadas	105

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

O debate a nível internacional sobre a necessidade de modelos de desenvolvimento sustentável acontece desde a Conferência de Estocolmo em 1972, a qual contou com a participação de representantes de mais de 100 países, os quais discutiram temas como a poluição e o desmatamento. Ainda hoje o tema continua a se fazer presente em noticiários, principalmente após acontecimentos climáticos extremos incomuns para determinadas localidades, como tem acontecido no verão do hemisfério norte em 2021 com altas temperaturas causando diversas mortes no Canadá e nos Estados Unidos, e enchentes causando grande destruição na Bélgica e na Alemanha (figura 1.1).



Fig. 1 - Destruição causada por inundação em cidade alemã.

Fonte: Reuters, 2021

A indústria da construção civil é responsável por muitos impactos ambientais, principalmente relacionados à extração de matéria-prima e ao consumo energético, ainda assim, as obras de engenharia

civil continuam a ser necessárias para melhorar a qualidade de vida da população, seja com obras de infraestrutura e equipamentos coletivos ou com construção e remodelação de habitações, além de ter grande importância econômica. Por isso, é importante que haja esforços para que a construção civil seja o mais sustentável possível.

Com esse objetivo, desde a década de 1990, foram desenvolvidas diversas ferramentas para auxiliar na concepção de projetos mais sustentáveis de construção, como o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) e o LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*). Tais ferramentas são influenciadas pelo contexto sociocultural e econômico dos países onde são desenvolvidas, sendo aconselhável que sejam adaptadas antes de serem utilizadas em outros locais.

Duas metodologias de avaliação da sustentabilidade de construções adaptadas ao contexto de Portugal são o método MARS-SC e o método SBTool^{PT}. Estas avaliam não somente o impacto ambiental das soluções construtivas analisadas, mas também os seus desempenhos econômico e funcional, por considerar que para um edifício ser sustentável as dimensões ambiental, funcional e econômica devem coexistir harmoniosamente.

Para que essas ferramentas de avaliação de sustentabilidade cumpram o objetivo proposto em seu desenvolvimento, é necessário que a aplicação delas seja possível não somente no meio acadêmico, mas por profissionais da área de construção civil com dados que sejam de fácil acesso, já que na existência de dificuldades na realização da avaliação, a tendência é que as construções continuem a utilizar os materiais mais correntes e/ou mais baratos disponíveis.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo aplicar uma metodologia de avaliação de sustentabilidade nas soluções construtivas para cobertura, fachada e pavimento de um projeto de edifício balnear desenvolvido para ser construído em praias fluviais de Portugal, para determinar o desempenho dessas soluções nas dimensões ambiental, funcional e econômica, utilizando informações ambientais, técnicas e econômicas disponibilizadas por fabricantes ou por instituições relacionadas à construção civil.

Os resultados mostrarão se as soluções construtivas definidas em projeto são as mais sustentáveis dentre as opções analisadas.

1.3 METODOLOGIA

O procedimento para a realização da avaliação de sustentabilidade ocorrerá do seguinte modo: inicialmente será necessário selecionar soluções construtivas alternativas àquelas de projeto, sem que implique em alterações nos projetos de outras especialidades, em seguida serão definidos os indicadores que deverão ser analisados para as soluções construtivas, é necessário que tais indicadores sejam relevantes para o contexto do edifício estudado, e que existam informações sobre eles para cada uma das soluções construtivas analisadas. Com os indicadores determinados será aplicada uma metodologia baseada nos métodos MARS-SC e SBTool^{PT} para calcular o nível de sustentabilidade global de cada solução construtiva. As soluções alternativas estudadas serão comparadas com as soluções de projeto através da sobreposição de perfis de sustentabilidade.

Os valores dos indicadores a serem analisados serão obtidos em declarações ambientais de produto, fichas técnicas, e em outros documentos publicados por fabricantes de materiais de construção civil. Os cálculos necessários para a aplicação da metodologia serão feitos com auxílio de planilhas de cálculo

utilizando o mesmo software que será usado para o desenvolvimento dos perfis de sustentabilidade dos materiais.

1.4 ORGANIZAÇÃO

Esta dissertação está dividida em seis capítulos que abordam todo o processo das avaliações de sustentabilidade realizadas no presente trabalho, incluindo a apresentação do caso de estudo, a explicação da metodologia utilizada, a aplicação desta metodologia nas soluções construtivas escolhidas e a análise dos resultados. A organização dos capítulos está feita da seguinte maneira:

O capítulo 1 tem a função de introduzir o tema deste trabalho, apresentando o objetivo e a maneira como se pretende alcançá-lo, bem como a organização adotada.

No Capítulo 2 é feito o levantamento do estado da arte, no qual é explicada a importância das declarações ambientais de produto em avaliações de sustentabilidade, e são abordadas metodologias de avaliação de sustentabilidade desenvolvidas para o contexto da construção portuguesa.

No Capítulo 3 é apresentado o caso de estudo que terá suas soluções construtivas avaliadas, incluindo o âmbito no qual foi projetado, as soluções construtivas escolhidas e a função que o edifício terá.

No Capítulo 4 a metodologia utilizada na avaliação das soluções construtivas é descrita. É neste capítulo que são determinados os indicadores que serão analisados, os documentos que deverão ser utilizados para obter valores para esses indicadores, a categoria a qual cada indicador compõe e o peso que cada categoria terá no cálculo do nível global de sustentabilidade.

No Capítulo 5, a metodologia apresentada no capítulo anterior é aplicada na avaliação das soluções construtivas de projeto e as alternativas estudadas (também apresentadas neste capítulo). É também feita a análise dos resultados obtidos, através de quadros e de perfis de sustentabilidade que mostram o desempenho de cada solução construtiva para os diversos indicadores analisados.

O Capítulo 6 é o último capítulo da dissertação. Nele será comentado a opinião do autor com relação aos resultados obtidos e se o objetivo foi alcançado. Nesse capítulo também serão feitas sugestões para trabalhos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Indústria da Construção Civil tem um grande impacto ambiental, sendo este setor o destino de 60% da matéria-prima extraída da litosfera, dos quais 40% são para a construção de edifícios segundo Bribián et al (2010), que afirmam que na Europa 4,8 toneladas de materiais de extração mineral são consumidos por habitante por ano na construção de edifícios. O desenvolvimento e crescimento de zonas urbanas estão diretamente ligados à Indústria da Construção Civil, e consequentemente conduzem a um aumento do impacto ambiental causado por esta.

De acordo com Bragança e Mateus (2011), as fases de utilização e, manutenção dos edifícios construídos tem importante participação nesse impacto supracitado. Estes afirmam que é possível contribuir consideravelmente para a sustentabilidade de um edifício através de uma escolha adequada de materiais, produtos e técnicas construtivas a serem utilizadas na construção.

Uma técnica reconhecida internacionalmente para a análise do impacto ambiental de um produto é a Avaliação do Ciclo de Vida, conhecida pelo acrônimo em inglês LCA (Life Cycle Assessment). A LCA é uma ferramenta para analisar sistematicamente o impacto ambiental de um produto ou processo, desenvolvido principalmente nas décadas de 1970 e 1980, estandardizada na ISO 14.000 (Cabeza et al. 2014). A ISO 14.040, focada no desenvolvimento de metodologias para a LCA, define essa técnica como a compilação e a avaliação de todas as entradas e saídas (energia, materiais e emissões) e os potenciais impactos ambientais de um produto ou sistema ao longo do ciclo.

A Avaliação do Ciclo de Vida de um material pode estudar diversas fases da existência deste, desde a extração da matéria-prima, fabrico, construção, utilização e manutenção, e até a reciclagem/descarte após o fim do seu ciclo de vida, incluindo os transportes existentes entre todas as fases (figura 2). Em função das fases estudadas, a LCA pode ser classificada em cradle-to-gate (“do berço à porta”) quando a análise é feita somente até o fim do fabrico do material, cradle-to-grave (“do berço ao túmulo”) quando a análise engloba as fases de utilização e chega à fase de descarte, e cradle-to-cradle (“de berço a berço”) quando também é analisada a fase de reciclagem (ou reutilização) do produto (Bragança e Mateus, 2011).

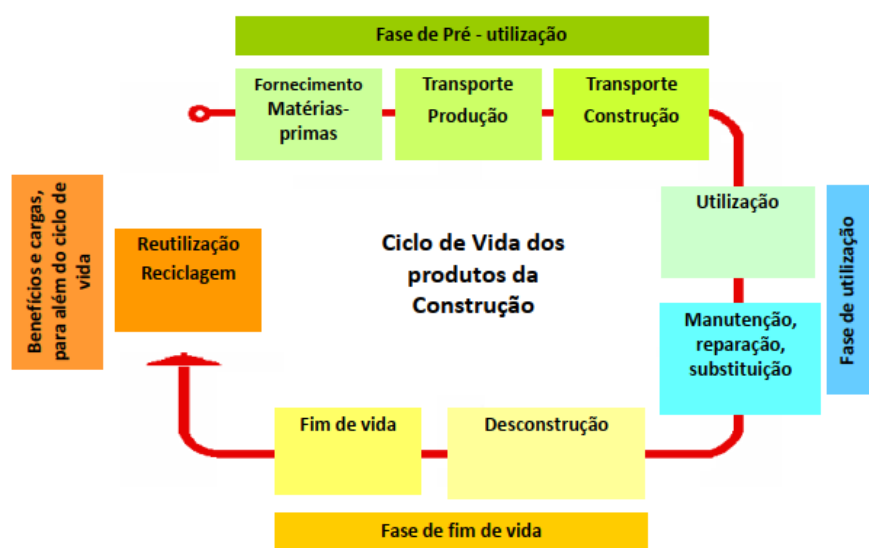


Fig. 2 - Fases do ciclo de vida de um material.

Fonte: Almeida (2012)

De acordo com a ISO 14.040 e com a ISO 14.040 a implementação de uma Análise de Ciclo de Vida realiza-se em quatro fases. Essas quatro fases são descritas por Cabeza et al. (2014) da seguinte forma:

- Objetivo e âmbito: estabelece as unidades funcionais avaliadas, as condições limite, e os critérios para a alocação dos impactos nos diferentes processos;
- Inventário do Ciclo de Vida: trata da coleta e síntese da informação dos materiais e fluxos energéticos das diversas etapas do ciclo de vida;
- Avaliação do impacto ambiental: as informações coletadas na etapa de inventário são classificadas em diferentes categorias de impacto;
- Interpretação do ciclo de vida: trata da interpretação dos resultados obtidos no Inventário do Ciclo de Vida e na Avaliação do Impacte Ambiental.

Segundo Bragança e Mateus (2011), por mais que a fase de inventário consuma muito tempo, por conta da necessidade da criação de formulários para a recolha de dados associados aos sistemas produtivos, cerca de 80% dos dados que são necessários para uma análise LCA comum podem ser encontrados em bases de dados, bibliografias e na internet (muitas empresas disponibilizam em seus sites declarações ambientais de seus produtos que contêm resultados de avaliações de ciclo de vida), devendo-se, no entanto, fazer uso cuidadoso desses dados já existentes, principalmente quando advindos de fontes desconhecidas.

Realizar a Avaliação do Ciclo de Vida global de edifícios é uma tarefa complicada, pois estes são resultados de combinações de diferentes materiais e sistemas construtivos que interagem entre si e com o ambiente onde foi feita a construção, compreendendo a forma como os materiais são adquiridos, construídos ou montados, utilizados, reparados, reabilitados e demolidos. Para simplificar a análise LCA do edifício foram desenvolvidas diversas ferramentas e metodologias específicas baseadas no método LCA, da qual a maioria utiliza uma abordagem *bottom-up*, ou seja, calcula o impacto ambiental global

de um edifício através do somatório do impacto ambiental de cada um dos seus materiais e componentes (Bragança e Mateus, 2011).

2.2. DECLARAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTO

A aplicação de metodologias de Avaliação do Ciclo de Vida permite que sejam desenvolvidas Declarações Ambientais de Produto (DAP), conhecidas pelo termo em inglês Environmental Product Declaration (EPD), que possibilitem que as partes integrantes do desenvolvimento de obras de construção civil tenham acesso a informações que possam ajudá-las a escolher entre produtos que realizam a mesma função, a partir da comparação do impacto ambiental desses produtos ao longo de suas vidas, seja em fase de projeto ou na fase da execução.

EPDs são declarações que informam propriedades relevantes sobre a performance ambiental de um determinado produto, com dados neutros e objetivos, tais informações são obtidas através de uma avaliação do ciclo de vida, levando em consideração a extração da matéria-prima, o processo de fabricação, processo de execução/montagem, o uso e o fim de vida do produto. Bragança e Mateus (2011) definem como as principais vantagens dessas declarações: fornecer informação sobre o desempenho ambiental de um produto ou serviço, estimular a oferta e a procura de produtos ou serviços com menor impacto ambiental ao longo do ciclo de vida e induzir a melhoria do perfil ambiental dos produtos de outros fornecedores, conduzindo à redução da pressão ambiental associada à categoria de produto ou serviço, além disso, os autores afirmam que as EPDs de componentes de construção podem ser utilizadas como base para quantificação de impactos ambientais de um edifício numa abordagem *bottom-up*.

O desenvolvimento das Declarações Ambientais de Produto são processos voluntários desenvolvidos a partir do interesse de uma ou mais entidades, podendo ser empresas, setores industriais, entidades independentes, entre outros. As partes interessadas devem selecionar um operador do programa, que por sua vez fica responsável por definir quem irá inspecionar o programa, o formato da declaração de acordo com a ISO 14025, o nível de envolvimento das partes interessadas, e os requisitos mínimos que devem ser atingidos. De acordo com Bovea et al (2014), são deveres do operador do programa: garantir a seleção de verificadores independentes e competentes, disponibilizar de forma transparente as EPDs e as Regras de Categoria de Produto publicadas, e compatibilizar esses documentos de acordo com o programa.

Operador do programa é como é chamada a organização independente selecionada para o desenvolvimento da EPD. Na Europa, existem diversos programas de desenvolvimento de Declarações Ambientais de Produto, entre eles estão a The International EPD System da Suécia, a IBU-EPD da Alemanha, a DAPc da Espanha, a MRPI dos Países Baixos, a EPD-NORGE da Noruega e a DAP Habitat de Portugal. Algumas informações sobre estes programas, incluindo o número de EPDs publicadas na categoria de produtos de construção civil, são apresentadas no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 - Programas de desenvolvimento de Declarações Ambientais de Produto

Programa	País de Origem	Ano de Criação	Operador do Sistema	Tipo de Operador	Número de EPDs Publicadas
The International EPD System	Suécia	1999	International EPD Consortium	Governamental	1350
IBU-EPD	Alemanha	2004	IBU – Institute Construction and Environment e.V.	Associação sem fins lucrativos	1610
DAPc	Espanha	2008	Dtp. de Medio Ambiente e Instituto de la Construcción de la Generalitat de Cataluña	Governamental	80
MRPI	Países Baixos	2000	MRPI-bureau	Organização Certificada	318
EPD-NORGE	Noruega	1989	Norwegian EPD foundation	Governamental	500
DAP Habitat	Portugal	2011	Centro Habitat – Plataforma para a Construção Sustentável	Associação sem fins lucrativos	14

Para além dos deveres citados anteriormente, o operador do programa deve preparar um documento com as instruções gerais a serem seguidas no desenvolvimento da declaração. As “regras do operador do programa”, como são chamadas essas instruções, devem conter pelo menos as seguintes informações segundo Bovea et al (2014): objetivo e escopo do programa; membros do comitê de gestão e operação do programa; público-alvo; nível de envolvimento das partes interessadas, regras para seleção e para o cálculo das categorias de produto; instruções para gestão dos dados e da documentação; informações sobre a gestão da confidencialidade dos dados; processo de desenvolvimento, manutenção e verificação das Regras de Categoria de Produto; processo de verificação da EPD; definição de revisões periódicas das instruções do programa; origem do financiamento e custos do programa.

Uma vez tendo sido definido programa no qual será desenvolvida a Declaração Ambiental de Produto, deve-se selecionar as Regras de Categoria de Produto (RCP) na qual se encaixa, sendo necessário o desenvolvimento de RCP novas quando estas não existam ainda para a categoria do produto a ser analisado. As RCPs são documentos, normalmente de propriedade do operador do programa, que permitem que se possa comparar EPDs de produtos diferentes, sendo definidas no site da The International EPD System (2021) como uma “receita padronizada de uma avaliação do ciclo de vida”. De acordo com a DAP Habitat (2021), as Regras de Categoria de Produto devem conter um conjunto de regras e orientações para o desenvolvimento da Declaração Ambiental de Produto, entre elas: quais os

parâmetros devem ser analisados e declarados, as etapas do ciclo de vida que devem ser consideradas; regras para a elaboração de cenários, para o cálculo do inventário do ciclo de vida e para a avaliação do impacto; condições de comparabilidade entre diferentes produtos baseada em informações declaradas na EPD.

Segundo Bovea et al (2014) os passos para o desenvolvimento de uma RCP nova são os seguintes: coletar PCRs e LCAs existentes sobre o assunto; reunir outras partes interessadas através de anúncios do desenvolvimento das novas Regras de Categoria de Produto; definir o sistema de unidades e a unidade funcional utilizada; escrever a RCP a partir de Avaliações de Ciclo de Vida existentes ou, quando necessário, desenvolver uma nova LCA seguindo a ISO 14040/44 de 2006; ter a as regras revisadas por um painel constituído pelas partes interessadas; receber a aprovação de um comitê técnico formado por especialistas em LCA da academia e do mercado. As Regras de Categoria de Produto, em geral, têm validade que varia de 3 a 5 anos, sendo contado a partir da data de aprovação, e deve ser revisada e atualizada ao fim desse prazo (Bovea et al, 2014).

Após o desenvolvimento da Declaração Ambiental de Produto seguindo um RCP definida, ela deve ser verificada de forma transparente por um corpo de inspeção independente, seja ele interno ou externo à organização que desenvolveu a EPD, para que se determine se a declaração segue as normas internacionais e nacionais necessárias, além das Regras de Categoria de Produto consideradas. Caso seja detetada alguma falha no processo ou incoerência com as normas, a EPD não deve ser publicada.

No caso da publicação da EPD ser aprovada pelo corpo de inspeção, esta deverá ocorrer no programa correspondente e deverá incluir as seguintes informações segundo Bovea et al (2014): descrição do produto e do fabricante; desempenho ambiental; informações relacionadas as organizações de certificação e verificação; informações que comprovem que o desenvolvimento da EPD seguiram o escopo, princípios e processos estabelecidos em normas internacionais; métodos de verificação das informações declaradas; demonstração que outras partes interessadas participaram do desenvolvimento da Declaração Ambiental de Produto e que suas considerações foram analisadas. Todas as etapas estão representadas no diagrama apresentado na figura 3.



Fig. 3 - Etapas a serem seguidas na produção de uma EPD.

Fonte: Almeida (2012)

De acordo com a Almeida (2012) uma EPD também deve informar: Declaração dos indicadores ambientais oriundos da LCA (listados no Quadro 2); cenários e informação técnica adicional envolvendo o estágio de processo de construção, o estágio de utilização e o fim de vida; informações adicionais relativas a liberação de substâncias perigosas no ar, sol e água durante o estágio de utilização.

Quadro 2 - Indicadores ambientais de produto

Fonte: Almeida, 2012

Indicadores de saída de impactos ambientais	Indicadores de entrada de fluxos materiais e de energia	Indicadores de saída de fluxos materiais e de energia
Alterações climáticas	Uso de materiais não renováveis	Materiais para reciclagem
Destruição da camada de ozono	Uso de materiais renováveis	Materiais para aproveitamento de energia
Acidificação da terra e dos aquíferos	Uso de energia primária não renovável	Deposição em aterro de resíduos não perigosos
Eutrofização	Uso de energia primária renovável	Deposição em aterro de materiais perigosos
Oxidação fotoquímica	Uso da água	Deposição em aterro de materiais radioativos
Depleção abiótica		

As informações dos impactos ambientais contidas em uma Declaração Ambiental de Produto levam em consideração da extração das matérias-primas até o fim de vida do material final (*cradle-to-grave*), e podem considerar também a fase de reciclagem ou reutilização (*cradle-to-cradle*). No entanto, a avaliação do ciclo de vida de um material de construção depende de quesitos que variam de projeto em projeto, como distância à fábrica, método de execução/montagem da solução construtiva, utilização, manutenção e possibilidade de reciclagem. Dessa forma os programas que desenvolvem as EPDs baseiam os cálculos dos estágios após a saída da fábrica em cenários que devem estar bem definidos na declaração ambiental.



1. General Information

Knauf AQUAPANEL GmbH & Co. KG	AQUAPANEL® Cement Board Outdoor
Programme holder IBU – Institut Bauen und Umwelt e.V. Panoramastr. 1 10178 Berlin Germany	Owner of the declaration Knauf Aquapanel GmbH & Co. KG Kipperstraße 19 44147 Dortmund Deutschland
Declaration number EPD-USG-20190019-IAA1-EN	Declared product / declared unit 1 m² AQUAPANEL® Cement Board Outdoor with a thickness of 12.5 mm.
This declaration is based on the product category rules: Fibre cement / Fibre concrete, 07.2014 (PCR checked and approved by the SVR)	Scope: This Environmental Product Declaration refers to AQUAPANEL® Cement Board Outdoor from the production facility in Iserlohn, Germany.
Issue date 16/08/2019	The owner of the declaration shall be liable for the underlying information and evidence; the IBU shall not be liable with respect to manufacturer information, life cycle assessment data and evidences. The EPD was created according to the specifications of EN 15804+A1. In the following, the standard will be simplified as EN 15804.
Valid to 15/08/2024	Verification The standard EN 15804 serves as the core PCR Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025:2010 ☐ internally ☒ externally
 Dipl. Ing. Hans Peters (chairman of Institut Bauen und Umwelt e.V.)	 Prof. Dr. Birgit Grahl (Independent verifier appointed by SVR)
 Dr. Alexander Röder (Managing Director Institut Bauen und Umwelt e.V.)	

2. Product

2.1 Product description/Product definition

Cement-bound, mineral building panel with two-dimensional lattice structures consisting of longitudinal and transverse glass fibres for outdoor use.

The AQUAPANEL® Cement Board Outdoor is a CPR product with European Technical Assessment (ETA). The placing on the market of the product in the European Union/European Free Trade Association (EU / EFTA) (with the exception of Switzerland) is also subject to Regulation (EU) No 305/2011 (CPR). The product requires a declaration of performance in consideration of / ETA-07/0173 /, dated 11.10.2017 and the CE marking.

For the use of the product, the respective national regulations apply.

2.2 Application

The "AQUAPANEL® Cement Board Outdoor" building board is used as a non-load-bearing wall element in exteriors.

2.3 Technical Data

Technical Data

Name	Value	Unit
Thermal conductivity acc to ISO 10456/	0.35	W/(mK)
Water vapour diffusion resistance factor acc to ISO 12572/	66	-
Swelling (air-dry to water-saturated) acc to EN 318/	0.23	mm/m
Gross density acc to EN 12467/	1150	kg/m³
Tensile strength acc to EN 319/	0.65	N/mm²
Flexural strength acc to EN 12467/	>=7	N/mm²
Coefficient of thermal expansion	7	10⁻⁴K⁻¹

AQUAPANEL® Cement Board Outdoor (product after CPR with ETA)

- Performance values of the product according to the declaration of performance with respect

Fig. 4 - Extrato da EPD de um painel de cimento Aquapanel da Knauf

Fonte: IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V (2019)

2.3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

Desde quando o setor da construção civil reconheceu o impacto das suas atividades no desenvolvimento sustentável, durante a década de 1990, várias ferramentas para avaliação de sustentabilidade foram desenvolvidas. A primeira a ser disponibilizada comercialmente foi a Building Research Establishment Assessment Method (BREAM), desenvolvida no Reino Unido durante os anos 90 (Mateus e Bragança, 2011). Posteriormente foram desenvolvidas a Sustainable Building Tool (SBTool), por uma iniciativa internacional, e a Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), nos Estados Unidos da América. De acordo com Mateus e Bragança (2011), essas três ferramentas serviram de base para o desenvolvimento de diversas outras metodologias em diversos países, tais quais: Eco-Quantum (Países Baixos), EcoEffect (Suécia), Envest2 (Reino Unido), BEES 4.0 (Estados Unidos) e ATHENA (Canadá).

As metodologias citadas por vezes não são aplicáveis a locais diferentes do país ou território onde foram desenvolvidas. Isso se deve, segundo Mateus (2004), pelo fato que o conceito de sustentabilidade é subjetivo, sendo influenciado por questões políticas, tecnológicas, culturais, sociais e econômicas que diferem não somente de um país para outro, mas também internamente dentro de um mesmo território. Dessa forma, se faz necessário um trabalho de adaptação de uma metodologia à realidade do local onde se deseja aplicar a avaliação.

No presente trabalho serão feitas avaliações de sustentabilidade tomando por base duas ferramentas desenvolvidas ou adaptadas para a realidade portuguesa, a versão portuguesa da Sustainable Building Tool (SBToolPT) e Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC).

2.3.1. SUSTAINABLE BUILDING TOOL (SBTOOL)

A *Sustainable Building Tool* (Ferramenta de Construção Sustentável), é um método desenvolvido em conjunto por representantes de 20 países diferentes, em um trabalho promovido pela *International Initiative for a Sustainable Built Environment* (iiSBE) a partir de 1996 (Mateus e Bragança, 2011).

No SBTool é calculada uma pontuação de sustentabilidade através de diversos indicadores que podem variar de acordo com o objetivo do trabalho. A esses indicadores são atribuídos pesos de acordo com a importância que cada um tem no contexto analisado. Mateus e Bragança (2011) afirmam tentativas de desenvolver uma lista base de indicadores a serem utilizadas em avaliações de sustentabilidade resultaram em diferentes parâmetros e fatores de ponderação aplicados aos indicadores nos diferentes países onde esses estudos foram realizados. A grande vantagem do SBTool é que ele pode ser adaptado às diferentes prioridades encontradas nos diversos países e regiões, sejam elas socioculturais, econômicas ou ambientais.

Uma versão portuguesa do SBTool (SBTool^{PT}) foi desenvolvida em um trabalho realizado na Universidade do Minho e na iiSBE Portugal, com o objetivo de criar uma metodologia genérica para avaliar a sustentabilidade da construção de novos edifícios e a reabilitação de edifícios existentes em áreas urbanas no contexto português. A metodologia foi inicialmente focada na avaliação de edifícios residenciais, pois, de acordo com Mateus e Bragança (2011), é desse setor que são provenientes os maiores impactos causados pela indústria da construção.

No desenvolvimento do SBTool^{PT} foram estabelecidas algumas prioridades, entre elas estão: desenvolver uma lista de parâmetros que englobe os impactos da construção mais relevantes, mas com dimensão que não a torne menos prática de ser utilizada; definir um equilíbrio entre as três dimensões do desenvolvimento sustentável (ambiental, econômico e social); melhorar o grau de confiança no método através do uso de metodologia LCA para avaliação dos parâmetros ambientais; limitar ou excluir

o uso de indicadores qualitativos que sejam de difícil avaliação, como questões estéticas; produzir um selo que certifique o resultado, que seja de fácil entendimento para todas as partes da indústria da construção civil (Bragança e Mateus, 2011). A metodologia desenvolvida permite que sejam comparados os desempenhos gerais (englobando as três dimensões) de diversos projetos de construção, e/ou o desempenho individual de cada dimensão do desenvolvimento sustentável, sendo possível também classificar a importância dos vários indicadores analisados em cada projeto.

A metodologia SBTool^{PT} permite a avaliação de um edifício, as fundações e os trabalhos exteriores executado dentro do terreno onde está implantado o projeto, excluindo serviços exteriores ao estaleiro, tais quais redes urbanas de água e esgoto, redes de telecomunicação e transportes. Em edifícios novos a avaliação é feita em todo o ciclo de vida do projeto, e no caso de reabilitação o estudo se dá do momento da intervenção até o fim do ciclo de vida do edifício (Bragança e Mateus, 2011).

A aplicação da metodologia segue as seguintes etapas:

- i. Definição do objeto de estudo;
- ii. Definição das categorias, indicadores e parâmetros relacionados, dentro das três dimensões do desenvolvimento sustentável (ambiental, económica e social);
- iii. Quantificação do desempenho do edifício ao nível de cada indicador;
- iv. Normalização dos parâmetros;
- v. União dos parâmetros;
- vi. Cálculo do nível de sustentabilidade e avaliação global.



Fig. 5 - Etapas da avaliação segundo o método SBToolPT.

Adaptado de Bragança (2017)

A categoria é um indicador global (formada por um ou mais indicadores) que sintetiza o desempenho do edifício em determinado aspeto chave da sustentabilidade (Bragança e Mateus, 2011). A seleção das categorias a serem consideradas na metodologia foi feita após a análise das características de diferentes metodologias de avaliação de sustentabilidade de edifícios de diferentes países, aplicadas ao contexto português, chegando a um total de nove diferentes categorias, sendo cinco delas na dimensão ambiental,

três delas na dimensão social e uma na dimensão econômica. As categorias consideradas na metodologia SBTool^{PT} são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Categorias e indicadores considerados na metodologia SBToolPT e seus respetivos pesos
(Adaptado de Mateus e Bragança, 2011)

Dimensão de sustentabilidade	Peso da Dimensão (%)	Categorias	Peso da Categoria (%)	Indicadores de Sustentabilidade	Peso do Indicador (%)
Ambiental	40	C1 – Mudanças climáticas e qualidade do ar exterior	13	P1 – Impactes ambientais incorporados aos materiais de construção	13
				P2 – Densidade urbana	8
				P3 – Permeabilidade a água da incorporação	1
				P4 – Uso de terreno pré desenvolvido	3
				P5 – Uso da flora local	4
				P6 – Efeito ilha de Calor	4
		C3 – Eficiência energética	32	P7 – Energia primária	16
				P8 – Produção de energias renováveis no local	16
		C4 – Gestão de materiais e resíduos	29	P9 – Materiais e produtos reutilizados	9
				P10 – Uso de materiais com conteúdos reciclados	9
				P11 – Uso de materiais orgânicos certificados	7
				P12 – Uso de substitutos de cimento no betão	3
				P13 – Gestão de resíduos durante utilização	1
		C5 – Eficiência do uso de água	6	P14 – Consumo de água potável	3
				P15 – Reutilização de águas cinzentas e pluviais	1
Social	30	C6 – Conforto e saúde dos utentes	60	P16 – Eficiência da ventilação natural	7
				P17 – Toxicidade os acabamentos	7
				P18 – Conforto térmico	19
				P19 – Conforto luminotécnico	15
				P20 – Conforto Acústico	2
		C7 – Acessibilidades	30	P21 – Acessibilidade a transportes públicos	17
				P22 – Acessibilidade a equipamentos urbanos	13
Econômica	30	C8 – Educação e consciência sobre sustentabilidade	10	P23 – Educação dos utentes	10
		C9 – Custos do ciclo de vida	100	P24 – Custo de execução	50
				P25 – Custo de utilização	50

Como falado anteriormente, cada categoria é um identificada por um ou mais indicadores. Um indicador, segundo Mateus e Bragança (2011), tem três funções principais: simplificar, quantificar e comunicar, de modo que consigam expressar de maneiras simples informações obtidas de diferentes fontes. O SBTool^{PT} utiliza em sua avaliação um total de 25 indicadores, também listados no Quadro 3. Cada indicador é definido de acordo com um número de diferentes parâmetros, que são características possíveis de ser medidas para serem utilizadas nos cálculos da avaliação de sustentabilidade do edifício analisado.

Para evitar que as escalas dos diferentes parâmetros influenciem na avaliação da sustentabilidade do edifício, é feita uma normalização destes, o que também evita que haja erros de interpretação com o fato de que em alguns parâmetros quanto maior o valor medido melhor, enquanto em o contrário é válido (Mateus e Bragança, 2011). A cada parâmetro, é atribuída uma nota qualitativa, que vai de A+ a E, de acordo com o valor obtido através da normalização, sendo a nota A equivalente à melhor prática construtiva corrente, e a nota D equivalente à prática construtiva convencional (que cumpre o mínimo exigido em norma), como apresentado no Quadro 4 abaixo:

Quadro 4 - Conversão dos parâmetros quantitativos normalizados em notas qualitativas.
(Adaptado de Mateus e Bragança, 2011)

Nota Qualitativa	Valores Quantitativos
A+	$\underline{Pi} > 1,00$
A (Melhor prática)	$0,70 < \underline{Pi} < 1,00$
B	$0,40 < \underline{Pi} < 0,70$
C	$0,10 < \underline{Pi} < 0,40$
D (Prática Convencional)	$0,00 < \underline{Pi} < 0,10$
E	$\underline{Pi} < 0,00$

Por mais que na metodologia sejam utilizados um grande número de parâmetros e indicadores, estes devem ser combinados dentro de cada categoria, de modo que seja mais fácil o entendimento dos resultados (Mateus e Bragança, 2011). Esse processo de combinação é feito utilizando um sistema de pesos que possibilite atribuir maior ou menor importância a um indicador. O mesmo acontece com a combinação de categorias de uma mesma dimensão. Os pesos de cada indicador e de categoria são apresentados no Quadro 3.

O desempenho de sustentabilidade global do edifício é representado por um valor único, a nota de sustentabilidade (NG). Isso se deve ao fato que, em geral, é preferível uma nota única para representar o desempenho, de modo que seja de fácil entendimento e interpretação tanto para os leigos (clientes e investidores), quanto para os profissionais (arquitetos, engenheiros, projetistas), sendo apresentado em um selo em conjunto com o desempenho individual das três dimensões (figura 6). Esse valor é calculado atribuindo pesos a cada uma das três dimensões analisadas. Bragança e Mateus (2011) indicam utilizar um peso de 40% para dimensão ambiental, 30% para a dimensão social e 30% para a dimensão econômica, tendo chegado a essa distribuição levando em conta três fatores: a importância da questão ambiental para a sobrevivência dos seres humanos; a necessidade da coexistência das três dimensões para um desenvolvimento sustentável; e a opinião de especialistas da academia, investidores e utentes de edifícios de habitação.



Fig. 6 - Selo indicativo de desempenho de sustentabilidade global de um edifício segundo a metodologia SBToolPT
Fonte: Bragança e Mateus (2011)

2.3.2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO RELATIVA DA SUSTENTABILIDADE DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS (MARS-SC)

Uma das metodologias desenvolvidas para a análise do nível de sustentabilidade de um edifício através de uma abordagem *bottom-up* é o método MARS-SC, desenvolvido por Ricardo Mateus em sua Dissertação de Mestrado em 2004 (Mateus, 2009). Esse método foi desenvolvido para se adequar à avaliação das soluções construtivas aplicadas na Indústria da Construção Portuguesa,

Por ser uma metodologia *bottom-up*, o método MARS-SC analisa os materiais e as soluções construtivas de um edifício de forma relativa, comparando cada solução construtiva estudada com uma solução de referência (a solução construtiva mais comumente aplicada), e combinando os resultados individuais para então obter o impacto ambiental do edifício como um todo. Essa abordagem é feita em parâmetros que são divididos em três grupos: ambientais, funcionais (sociais) e económicos (Mateus, 2004), como citado na metodologia SBTool^{PT}, já que este não deve incorporar somente aspetos relacionados à proteção ambiental ou ao baixo consumo energético, sendo necessário incluir o impacto do edifício em seus utilizadores (Mateus, 2009).

A necessidade de se utilizar uma metodologia de análise relativa se dá pelo fato que há dificuldades em expressar a sustentabilidade em termos absolutos, já que a sustentabilidade é uma questão relativa. Mateus (2004) exemplifica que mesmo que uma solução construtiva apresente um bom desempenho ambiental e cumpra todas as exigências funcionais ela não pode ser considerada sustentável caso tenha um custo consideravelmente superior à solução corrente. Além disso, por se comparar as soluções construtivas analisadas com a solução mais comumente utilizada (solução de referência) em determinado território ou país, é possível adaptar facilmente a metodologia para diferentes locais com características diversas.

Na avaliação MARS-SC, primeiramente é necessário definir quantos e quais parâmetros serão analisados para cada solução construtiva. Em sua Dissertação de Mestrado (2004), o Professor Ricardo Mateus utilizou dois parâmetros ambientais; dois parâmetros funcionais; um parâmetro económico, apresentados abaixo no Quadro 5, afirmando, porém, que o número de parâmetros em cada grupo pode ser ajustado de acordo com o que se pretenda para a avaliação, as características próprias de cada solução construtiva, as exigências funcionais do edifício, e os dados disponíveis.

Quadro 5 - Parâmetros utilizados na metodologia MARS-SC por Mateus (2004)

Ambientais	Funcionais	Econômicos
Massa da solução construtiva	Comportamento acústico	Custo da Construção
Energia primária incorporada (PEC)	Isolamento térmico	

Para cada solução construtiva analisada são calculados índices referentes a cada parâmetro que expressam a relação de grandeza entre a alternativa analisada e a solução de referência, permitindo analisar, para cada parâmetro, se a alternativa é melhor ou pior que a prática corrente (Mateus, 2004).

A comparação é feita de maneira simples através de uma divisão direta entre os dois valores. Caso o parâmetro analisado seja do tipo “quanto maior melhor” (como no caso da resistência mecânica do material, ou eficiência da ventilação natural) o valor da solução construtiva de referência será o dividendo, como mostrado na equação 2.1 abaixo:

$$I = \frac{Valor_{referencia}}{Valor_{estudo}} \quad (2.1)$$

Quando o parâmetro é do tipo “quanto menor melhor” (como por exemplo consumo de água potável, ou custo) o valor da solução construtiva estudada é que será o dividendo (equação 2.2):

$$I = \frac{Valor_{estudo}}{Valor_{referencia}} \quad (2.2)$$

De forma que os resultados possam sempre ser interpretados de acordo com o Quadro 6 abaixo:

Quadro 6 - Avaliação das comparações realizadas no método de MARS

Valor do Índice	Avaliação
<1	Solução em estudo melhor do que a solução de referência
≈1	Solução em estudo idêntica à solução de referência
>1	Solução em estudo pior do que a solução de referência

Como dito anteriormente, o método MARS-SC é uma metodologia de análise relativa, ou seja, uma vez definidos os parâmetros a serem analisados, são calculados para cada parâmetro índices de comparação, que expressam a relação de grandeza existente entre um determinado parâmetro da solução construtiva analisada com o mesmo parâmetro da solução de referência, permitindo que se verifique se a solução estudada se comporta de maneira melhor ou pior em relação à solução construtiva de referência, para cada parâmetro (Mateus, 2004).

Uma vez calculados todos os índices de comparação, os resultados são apresentados de forma gráfica, com a transformação dos índices calculados em vetores, e a combinação dos vetores resultantes da análise de uma mesma solução construtiva de maneira que formem uma figura geométrica, denominada de Perfil Sustentável, com o número de lados equivalente ao número de índices analisados simultaneamente (Mateus, 2004). Na figura 7 é possível observar o perfil sustentável de uma solução estudada para um pavimento (em vermelho), sobre a solução de referência (em azul). A figura tem o formato de um hexágono por terem sido analisados seis índices de sustentabilidade, e a partir dela pode se interpretar que a solução estudada é melhor que a solução de referência em todos os parâmetros analisados, pois todos os índices têm valor inferior a 1. Mesmo se alguns dos índices análises tivessem se comportado de maneira diferente, seria possível determinar a solução mais sustentável pelo cálculo da área do perfil de sustentabilidade, de modo que quanto menor a área mais sustentável é a solução.

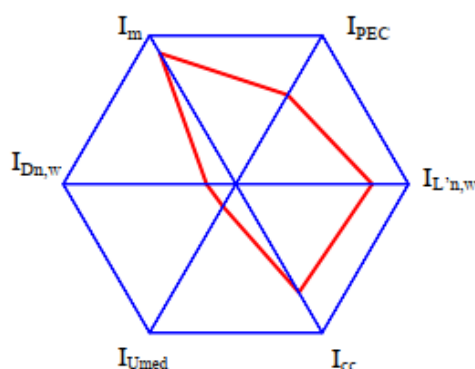


Fig. 7 - Representação de perfil sustentável de uma solução estudada para um pavimento sobre a solução de referência.

Mateus (2004)

Posteriormente, Mateus, em sua tese de doutoramento (2009), aprimorou a metodologia MARS-SC para utilizá-la na avaliação de sustentabilidade para edifícios de habitação, a qual chamou de Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Edifícios de Habitação (MARS-H). Para o método MARS-H, foi otimizada a lista de indicadores a serem analisados e passou-se a considerar as três dimensões do desenvolvimento sustentável. Além disso, foi incorporado o sistema de normalização dos indicadores e atribuição de pesos, assim como citado no método SBTool^{PT}.

Segundo Mateus (2009), os pesos considerados para os indicadores ambientais no método MARS-H foram baseados em um estudo realizado pela Agência Norte-Americana para a Proteção Ambiental (EPA), pois na época não foi identificado nenhum estudo a nível europeu sobre o assunto. Estes são apresentados abaixo no quadro 7.

Quadro 7 - Pesos atribuídos aos indicadores ambientais.

Fonte: Mateus (2009)

ID	Indicadores de Impacte Ambiental	Pesos (%)
GWP	Potencial de Aquecimento Global	16
AP	Potencial de Acidificação	5
EP	Potencial de Eutrofização	5
FFDP	Potencial de Esgotamento das Reservas de Combustíveis Fósseis	5
IAQ	Qualidade do Ar Interior	11
HA	Alteração dos Habitats	16
WI	Consumo de Água	3

A definição do peso de cada dimensão da sustentabilidade (ambiental, social e económica) levou em consideração a opinião de especialistas da área académica, projetistas, consultores de sustentabilidade, um conjunto de utilizadores de edifícios e uma empresa de construção (Mateus, 2009). Os pesos assumidos no cálculo do nível global de sustentabilidade na metodologia MARS-H estão no quadro 8 a seguir.

Quadro 8 - Peso de cada dimensão na quantificação do nível global de sustentabilidade.

Fonte: Mateus (2009)

ID	Indicadores de Impacte Ambiental	Pesos (%)
DA	Ambiental	40
DS	Social	30
DE	Económica	30

3

CASO DE ESTUDO

3.1 INTRODUÇÃO

O Caso de Estudo do presente trabalho faz parte do projeto de um Ponto de Apoio às práticas náuticas, desenvolvido no âmbito da disciplina de Projeto Integrado II, do Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios. Foi solicitado pela Gaiurb que se desenvolvesse um projeto para um edifício que teria as seguintes funções: balneário para os atletas de desportos náuticos, depósito para armazenamento dos barcos e equipamentos, e cozinha para instalação de um estabelecimento que pudesse servir comida para os banhistas durante o período balnear. Além dessas funções, também era necessário que o edifício projetado fosse de rápida construção e que fosse possível desmontá-lo e removê-lo do local caso necessário, devendo ser possível adaptar o projeto a três praias fluviais em Vila Nova de Gaia: Areinho de Oliveira do Douro, Areinho de Avintes e Areinho de Azenha de Campos. Esses três locais ficam na margem do Rio Douro, sendo suscetíveis a inundações em períodos de cheia.

A solução proposta foi dividir o edifício solicitado em dois blocos (figura 8), de forma que fosse possível facilitar a implantação nos diferentes areinhos. Um bloco terá somente a função de armazenamento dos equipamentos, enquanto o outro abrigará a cozinha, o balneário e as casas de banho. Ligando os dois blocos haverá um deck onde na época balnear poderão ser colocadas mesas e cadeiras para que os banhistas possam utilizar. No presente caso de estudo será analisado somente o edifício balnear.



Fig. 8 - Modelo 3D dos edifícios que compõe o Ponto de Apoio à Prática Náutica.

3.2 CONCEÇÃO

No desenvolvimento do projeto do edifício, foi dada prioridade aos seguintes objetivos:

- A construção do edifício deveria ser rápida;
- A solução construtiva deveria permitir que o edifício seja desmontado e remontado em outro local caso necessário;
- O edifício deveria se adaptar à possibilidade de cheias.

A solução encontrada foi de desenvolver um projeto de um edifício em estrutura metálica, por essa ser pré-fabricada e por isso ter uma montagem mais rápida do que soluções em betão, além de ser resistente o bastante para possibilitar a desmontagem e reaproveitamento para montagem em outro local, além disso utilizar materiais pré-fabricados, ou pré montados para que o tempo de trabalho no estaleiro fosse o menor possível. Para evitar ser inundado pelas cheias do Rio Douro, optou-se por fazer com que o edifício seja flutuante, através de um sistema de boias fixas sob o pavimento.

Como inspiração para a forma do edifício, usou-se as casas flutuantes do ateliê de arquitetura Fridays SA, que são casas modulares montadas sobre barcas de forma que sejam verdadeiramente navegáveis. Da mesma forma, no projeto do edifício balnear, foi utilizado um sistema modular, possibilitando adaptar o tamanho para caso o projeto seja replicado para outras localidades com terrenos menores. Cada módulo tem 2,20m x 2,20m, sendo o prédio formado por dez módulos, resultando em um edifício com 11,0m x 4,40m (figura 9). Outra vantagem da utilização de módulos é que os materiais de revestimento de fachada e para as paredes interiores podem ser encomendados sempre com o mesmo tamanho, facilitando a montagem.

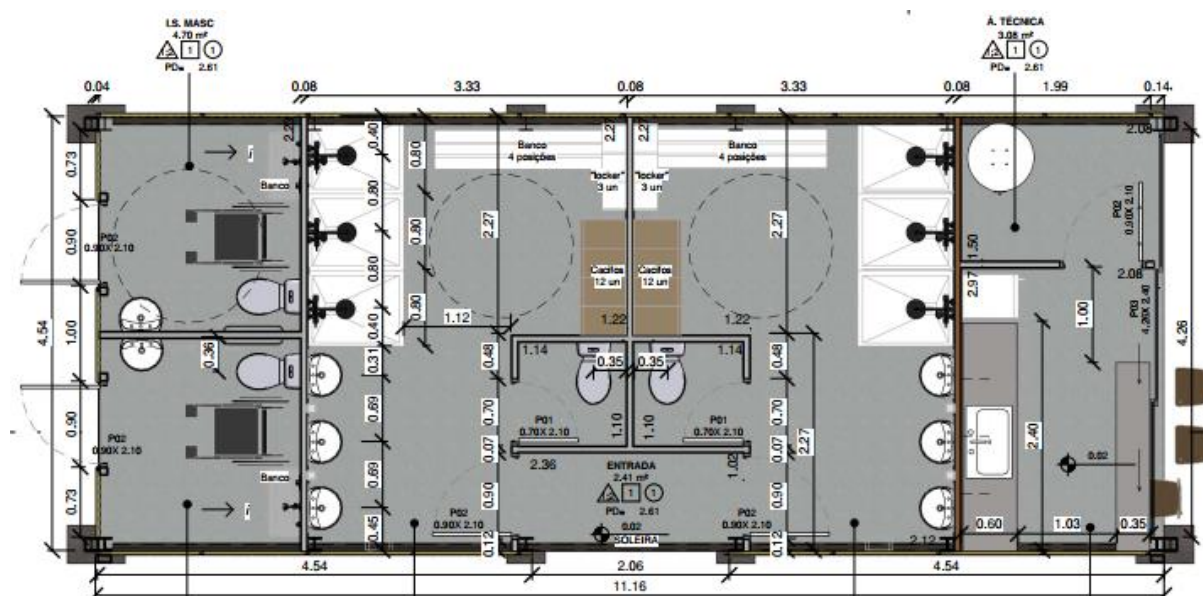


Fig. 9 - Planta baixa do edifício analisado no caso de estudo

O sistema utilizado para flutuação foi baseado em casas anfíbias desenvolvidas pelo *The Buoyant Foundation Project*, que utilizam um conjunto de boias fixadas sob moradias que as elevam sobre o nível da água no caso de cheias. Para garantir que as casas não sejam levadas pela força das águas, são utilizados pilares guias que garantem que o movimento das casas seja restrito ao eixo vertical, fazendo com que estas retornem exatamente ao mesmo sítio após o nível da água baixar. Esse sistema foi

desenvolvido após as inundações em Nova Orleans (EUA) causadas pela passagem do furacão Katrina em agosto de 2005, e tem como objetivo ser uma solução de baixo custo para a recuperação das moradias da região, mas pode ser utilizada na construção de edifícios em áreas suscetíveis a cheias.

No projeto do edifício de ponto de apoio à prática náutica foi considerada a utilização de boias de polietileno de alta densidade (HDPE), que são muito utilizadas em docas flutuantes para embarcações de pequeno porte. Essas boias são normalmente produzidas em pequenos módulos que podem ser combinados para preencher áreas de maior dimensão. Para possibilitar a flutuação do edifício foi calculado que seriam necessárias 70 boias com dimensões 100cm x 50cm x 40cm, instaladas sob as vigas de pavimento, fixadas entre si por parafusos e porcas também em HDPE, específicos para esse tipo de boia, e distribuídas sob toda a área do pavimento (figura 10), exceto onde haverá passagem das tubagens de águas residuais.

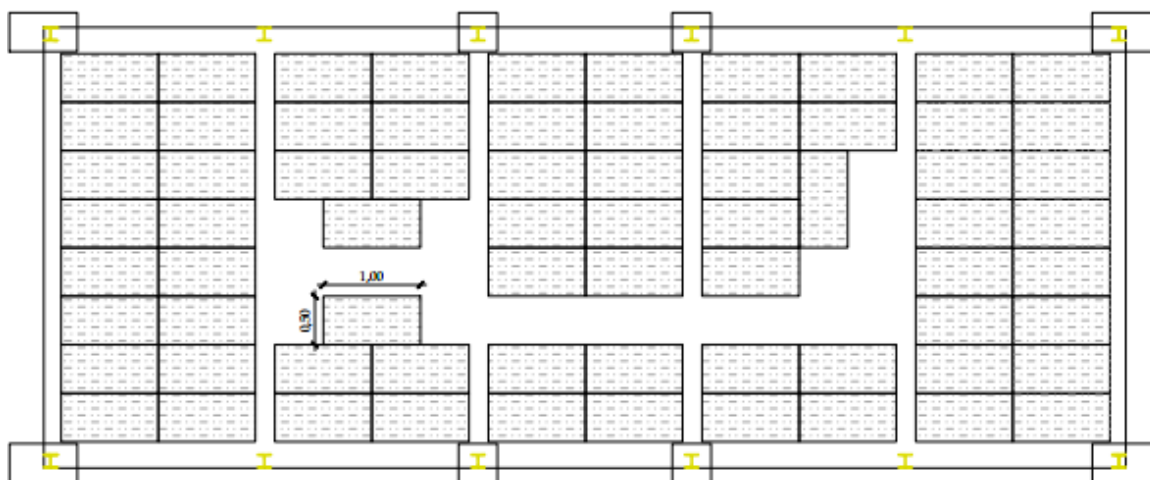


Fig. 10 - Distribuição das boias do sistema flutuantes sob o edifício.

A função principal do edifício deste caso de estudo é servir de balneário aos praticantes de desportos náuticos no Rio Douro, somente nos meses de verão é que se prevê a utilização da cozinha. Dessa forma, durante a maior parte do ano a utilização do edifício se dará por diferentes pessoas em curtos períodos de tempo, e o maior gasto energético será com o aquecimento das águas utilizadas para banho. É prevista a instalação de coletores solares térmicos na cobertura do edifício calculados para garantir um aproveitamento de 80% da energia do aquecimento das águas, além disso prevê-se a instalação de painéis solares fotovoltaicos para alimentação da iluminação, e, durante o verão, de alguns equipamentos da cozinha.

3.3 MATERIAIS

Como citado anteriormente, os materiais e soluções construtivas escolhidos no desenvolvimento do projeto têm como objetivo possibilitar uma construção possível de ser executada em um curto espaço de tempo, e, eventualmente, de ser desmontada e remontada com aproveitamento do máximo de material possível. Também foi necessário respeitar o orçamento de 100.000,00€ estipulado pelo cliente (Gaiurb) para a construção.

3.3.1. ESTRUTURA

A estrutura do edifício balnear foi pensada para ser executada em perfis de aço S275 galvanizado, composta por: pilares em HEB 140, vigas de cobertura em HEB 100, vigas de piso em HEB 140, contraventamento em tubo redondo de 2", madres de cobertura e fachada em perfil C 80x2 mm. A escolha de perfis metálicos ocorreu pelo facto destes serem fabricados a partir de modelos 3d do projeto, o que garante maior precisão. A maior parte dos resíduos são gerados em fábrica e podem ser reciclados, e a execução em obra pode se realizada por equipes de três homens com a utilização de máquinas para auxiliar na elevação e posicionamento das peças. Para facilitar a montagem e permitir a desmontagem e reaproveitamento das peças foram consideradas fixações parafusadas em todas as ligações entre perfis.

A utilização de estrutura metálica permite que parte da estrutura já saia de fábrica montada, sendo limitado somente pelo tamanho do camião que realizará o transporte e pelo peso máximo que o empilhador que será utilizado suporta.

3.3.2. COBERTURA

O edifício balneário terá cobertura em painel sanduíche com 5 ondas e 40 mm de espessura de isolamento em poliuretano (PUR), chapa interior em aço galvanizado com 0,3 mm de espessura e chapa exterior em aço galvanizado com 0,4 mm de espessura. A escolha pelo painel sanduíche se deu pelo facto de ser um material extremamente utilizado na construção corrente portuguesa, de fácil instalação e com boas propriedades térmicas. Os painéis são fabricados com comprimentos informados na hora da compra, o que possibilita que não haja desperdícios em obra. Por serem autoportantes, é possível reduzir a quantidade de madres para suporte da cobertura.

Para permitir a entrada de luz natural, reduzindo assim a necessidade de iluminação elétrica, parte da cobertura será em painel de policarbonato alveolar opalino também com 40 mm de espessura, o que exclui a necessidade de apoios para nivelar os painéis diferentes. Os remates da cobertura serão em chapa de aço inoxidável lacada com 0,5 mm de espessura, e a caleira será em chapa de aço inoxidável com 1,5 mm de espessura.

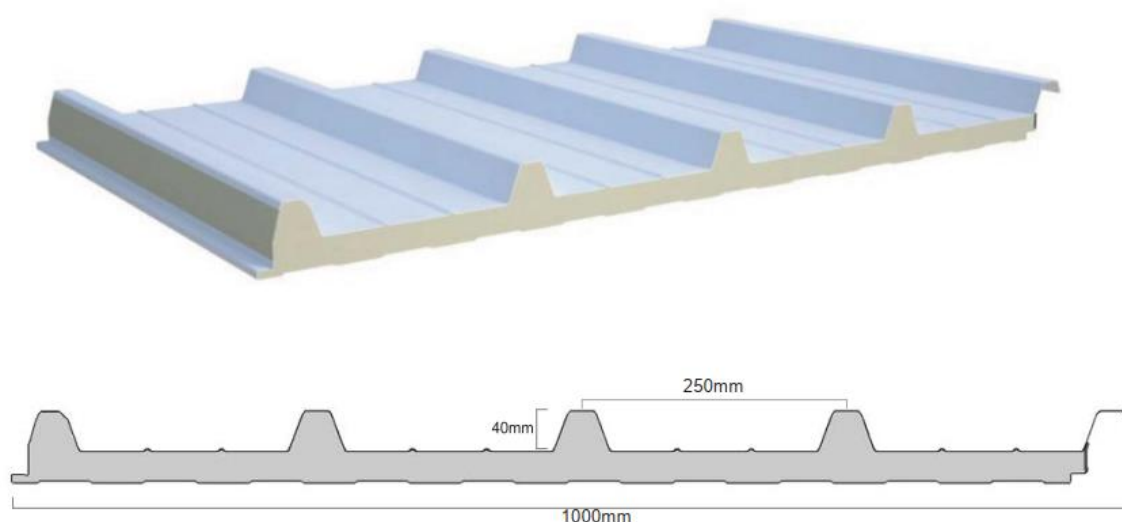


Fig. 11 - Painel sanduiche de cobertura com 5 ondas.

Fonte: Painel2000 (2020)

3.2.3. FACHADA

A fachada também será em painel sanduíche, pelas mesmas vantagens apresentadas na cobertura, porém foi considerado painel sanduíche de fachada, micronervurado, com chapa interior em aço galvanizado de 0,4 mm de espessura, lacada a branco, e chapa exterior em aço galvanizado de 0,4 mm de espessura a imitar madeira. O isolamento também é em poliuretano (PUR), com 40 mm de espessura.

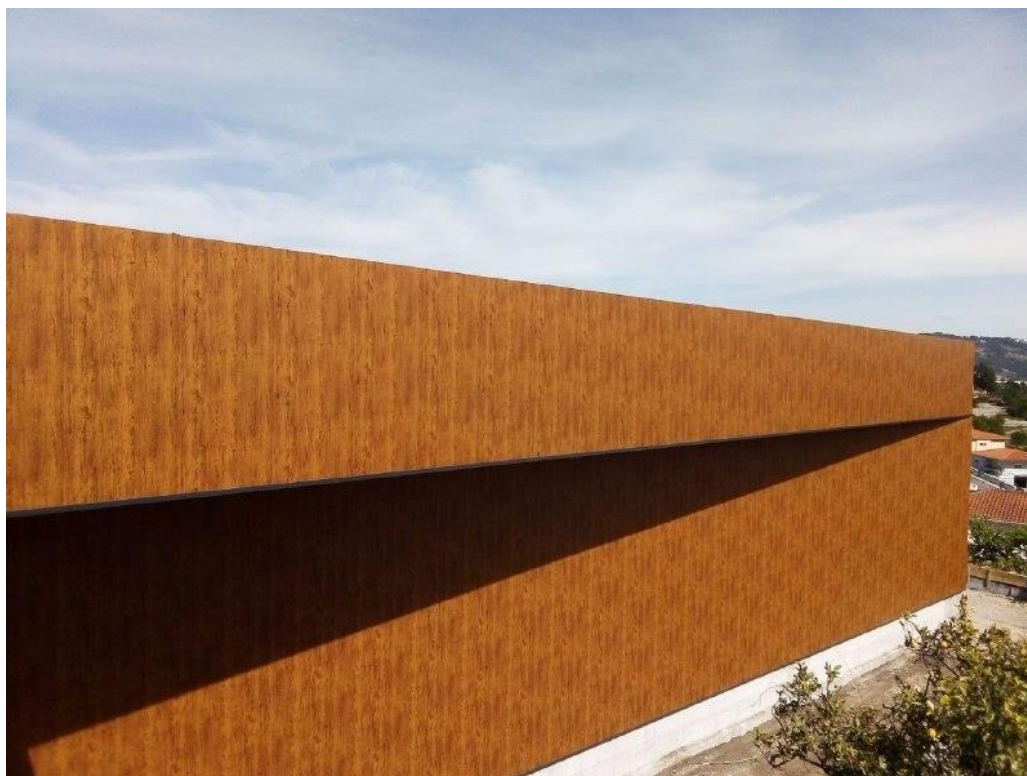


Fig. 12 - Painel sanduíche de fachada a imitar madeira aplicado em um edifício.

Fonte: Mundiperfil (2020)

3.2.4. PAVIMENTO

A solução considerada para o pavimento foi painel compósito de cimento e madeira com uma espessura de 19 mm. Essa solução é também pré-fabricada, e apresenta boa resistência mecânica. É possível aplicar um revestimento por cima dos painéis, porém no projeto foi considerado um acabamento com tinta e verniz resistentes à água.



Fig. 13 - Casa de banho com pavimento em painel composto de cimento e madeira.
Fonte: Investwood (2021)

4 METODOLOGIA

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente trabalho são avaliadas alternativas para as soluções construtivas propostas para revestimento de cobertura, revestimento de fachada e pavimento do edifício apresentado no Caso de Estudo.

A ferramenta de avaliação de sustentabilidade utilizada baseia-se na Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) e na versão portuguesa da *Sustainable Building Tool* (SBTool^{PT}), ambas desenvolvidas para poderem ser utilizadas no contexto da construção civil portuguesa, como falado no Capítulo 2 deste trabalho. As análises são feitas de forma relativa, comparando o resultado obtido para cada solução estudada com a solução originalmente proposta para o projeto.

As avaliações realizam-se levando em consideração as três dimensões da construção sustentável: ambiental, funcional e econômica. Para cada dimensão são analisados um conjunto de indicadores, que, combinados, resultam nos níveis de sustentabilidade das soluções estudadas para cada uma das três dimensões, e o nível global de sustentabilidade. As informações técnicas dos materiais foram obtidas através de documentações disponibilizadas na internet por fabricantes, ou através de estudos realizados anteriormente por outros autores.

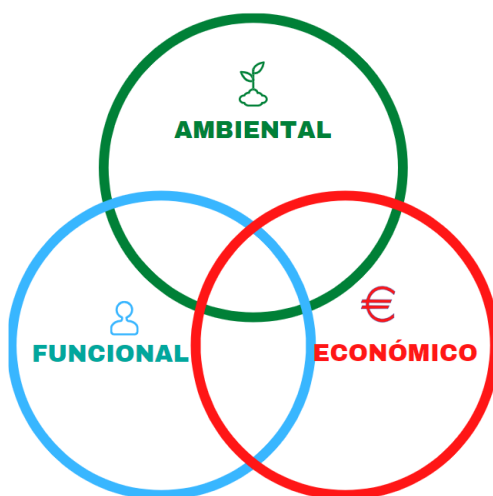


Fig. 14 - As três dimensões da construção sustentável

A escolha dos indicadores a serem analisados foi feita a partir dos dados disponibilizados pelas empresas para os diferentes produtos avaliados no presente trabalho, ou publicados no estado da arte, dessa forma não foram feitos, pelo autor do trabalho, ensaios nos materiais para determinar características físicas. A mesma abordagem é provável de ser admitida por projetistas, investidores e empreiteiros na escolha de materiais para serem utilizados na construção de edifícios.

Por não haver uma padronização das fichas técnicas publicadas por fabricantes de materiais de construção civil, encontrou-se dificuldade em selecionar indicadores para os quais houvesse informação para todas as soluções construtivas de uma mesma função. Isso foi mais relevante nas dimensões funcional e econômica, uma vez que as Declarações Ambientais de Produto seguiram um formato semelhante mesmo nos diferentes operadores, disponibilizando dados para os mesmos parâmetros.

Dessa forma, considerou-se um total de 20 indicadores, distribuídos em 9 categorias nas três dimensões da construção sustentável, havendo pequenas diferenças entre os indicadores funcionais considerados para as diferentes funções das soluções construtivas analisadas (revestimento de cobertura, revestimento de fachada e pavimento), de modo que nem todas as categorias serão analisadas para cada solução construtiva. A cada um desses indicadores foi atribuído um peso que implica na influência dele para o cálculo do nível de sustentabilidade da categoria em que se enquadra. O mesmo se repete com cada categoria de uma dimensão, e por fim entre as dimensões para se obter o nível de sustentabilidade global.

4.2. DIMENSÃO AMBIENTAL

Para calcular o desempenho ambiental de cada solução construtiva estudada, utilizou-se informações obtidas a partir de diferentes declarações ambientais de produto disponibilizadas por fabricantes ou por operadores de programas de desenvolvimento de EPDs. Foi dada preferência para EPDs de produtos de marcas específicas que disponibilizassem também fichas técnicas com informações analisadas em outras dimensões, porém em casos que isso não foi possível, utilizou-se declarações ambientais de produtos similares. Para as soluções construtivas formadas por mais de um material (como as paredes de fachadas compostas por um pano interior, isolamento térmico e revestimento exterior) os dados de comportamento ambiental foram obtidos somando os dados de cada material que compõe a solução estudada, tendo-se o cuidado de converter as dimensões para as espessuras consideradas.

Houve também soluções construtivas estudadas que são compostas por diferentes materiais, porém saem de fábrica já prontas para montagem em obra, e para as quais não foi possível encontrar resultados de avaliações do ciclo de vida. Nesses casos os dados utilizados no cálculo do nível de sustentabilidade ambiental também foram provenientes da soma dos valores de cada material individual. Entende-se que LCAs feitas especificamente para essas soluções compostas podem apresentar valores diferentes dos considerados no presente trabalho, porém acredita-se que a aproximação permite que sejam feitas as comparações necessárias.

Na maioria das EPDs analisadas, os dados da avaliação do ciclo de vida dos materiais informados são do tipo *cradle-to-grave* ou *cradle-to-cradle*, no entanto optou-se por considerar a informação referente somente até o término da fabricação de cada produto (*cradle-to-gate*). Isso deveu-se ao fato que em declarações ambientais de produto são feitas suposições sobre modo de transporte até o local da obra, distância entre a fábrica e o estaleiro, montagem, uso, manutenção, demolição e reciclagem dos materiais. Diferentemente dos dados sobre a fabricação dos materiais, as outras informações dependem de diversas variáveis relacionadas ao local onde será executada a obra, à função do edifício, e às pessoas

que o utilizarão. Além disso, as declarações ambientais de produto utilizadas foram desenvolvidas em outros países que não Portugal, e o contexto sociocultural tem importante influência construção e utilização de edifícios.



5. LCA: Results

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X = INCLUDED IN LCA; MND = MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE							END OF LIFE STAGE				BENEFITS AND LOADS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARIES
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport from the gate to the site	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	X	MND	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	MND	MND	X	MND	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT: Medium density fibreboard (MDF), coated with melamine impregnated paper, per m²

Parameter	Unit	A1-A3	A5	C3	D
Global warming potential	[kg CO ₂ -Eq.]	-2.96	0.94	17.64	-9.74
Depletion potential of the stratospheric ozone layer	[kg CFC11-Eq.]	8.27E-7	1.04E-9	5.55E-9	-1.13E-6
Acidification potential of land and water	[kg SO ₂ -Eq.]	6.06E-2	1.95E-4	5.16E-4	-1.01E-2
Eutrophication potential	[kg (PO ₄) ³ -Eq.]	9.98E-3	4.56E-5	6.76E-5	-1.04E-3
Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants	[kg ethene-Eq.]	4.08E-3	7.71E-6	2.33E-5	-9.56E-4
Abiotic depletion potential for non-fossil resources	[kg Sb-Eq.]	5.24E-5	2.66E-8	7.94E-8	-1.11E-6
Abiotic depletion potential for fossil resources	[MJ]	269.88	0.34	2.26	-200.98

Fig. 15 - Resultados de impacto ambiental apresentados em uma EPD divididos em estágios do ciclo de vida do material.

Fonte: IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., 2016

Na avaliação do grau de sustentabilidade em relação à dimensão ambiental, avaliou-se um total de catorze indicadores, classificados em três categorias: impacto ambiental, fonte de recursos e geração de resíduos. A escolha dos indicadores se baseou nos indicadores mais comumente analisados no estado da arte, e que fosse possível obter dados para as soluções construtivas avaliadas no presente trabalho. As categorias e os respectivos indicadores que as compõem são apresentadas no Quadro 9 abaixo:

Quadro 9 - Categorias e indicadores analisados na dimensão ambiental

Categoria	Peso da Categoria (%)	Indicador	Peso do Indicador (%)
Impacto Ambiental	25	Potencial de Aquecimento Global (GWP) - [kg CO ₂ -Eq.]	30
		Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (ODP) - [kg CFC11-Eq.]	10
		Potencial de Acidificação do solo e da água (AP) – [kg SO ₂ -Eq.]	10
		Potencial de Eutrofização (EP) - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	10
		Criação Fotoquímica de Ozônio (POCP) - [kg ethene-Eq.]	10
		Potencial de esgotamento abiótico para recursos não fósseis (ADPE) - [kg Sb-Eq.]	15
		Potencial de esgotamento abiótico para recursos fósseis (ADPF) - [MJ]	15
Fonte de Recursos	40	Uso Total de Energia Primária Não Renovável (PENRT) – [MJ]	70
		Percentual de Energia Primária Renovável Utilizada em Relação ao Total de Energia Primária Utilizada (PEPU) – [adimensional]	30
Eficiência do Uso de Água	15	Uso de Água Potável (FW) – [m ³]	100
Geração de Resíduos	20	Descarte de resíduos perigosos excluindo radioativos (HWD) - kg/FU	50
		Descarte de resíduos inertes (NHWD) - kg/FU	20
		Descarte de Resíduos radioativos (RWD) - kg/FU	30

Os valores obtidos para os indicadores que compõem cada categoria devem ser combinados para que se obtenha o valor atribuído àquela categoria em questão. Cada indicador tem um peso atribuído a ele, que define a influência deste indicador no cálculo do valor da categoria ao qual ele faz parte. Da mesma forma, o impacto ambiental de cada solução construtiva analisada é calculado combinando os resultados obtidos para cada categoria. Também são atribuídos pesos às diferentes categorias. O peso de cada categoria e indicador foi baseado a partir do Estado da Arte existente, e podem ser observados no Quadro 9.

4.3. DIMENSÃO FUNCIONAL

A dimensão funcional diz respeito à maneira como cada solução construtiva se comporta no edifício em funcionamento, desse modo, por haver necessidades diferentes para coberturas, fachadas e pavimentos, os indicadores analisados variam a depender da função da solução construtiva analisada. Para um indicador ser selecionado é necessário que seja possível encontrar dados sobre este comportamento para cada uma das soluções que serão comparadas entre si (aquelas que iriam desempenhar a mesma função no edifício), que como já foi falado anteriormente é dificultado pela falta de padronização nas fichas técnicas dos produtos de diferentes marcas.

4.3.1. INDICADORES COMUNS A TODAS AS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ANALISADAS

Um dos dois indicadores que é analisado para todas as soluções construtivas avaliadas é o coeficiente de transmissão térmica (U) que é usado para determinar a transferência de calor entre os dois ambientes separados pela solução avaliada, de modo que quanto menor o coeficiente de transmissão térmica da solução construtiva, melhor é o comportamento térmico desta. Esta característica depende da espessura (e) e da condutibilidade térmica (λ) dos materiais que compõe a solução construtiva analisada. Em geral, quando o produto é composto em fábrica por materiais com comportamento térmico diferente, como no caso dos painéis sanduíches, o fabricante informa na ficha técnica o coeficiente de transmissão térmica (U) para o produto (figura 16).

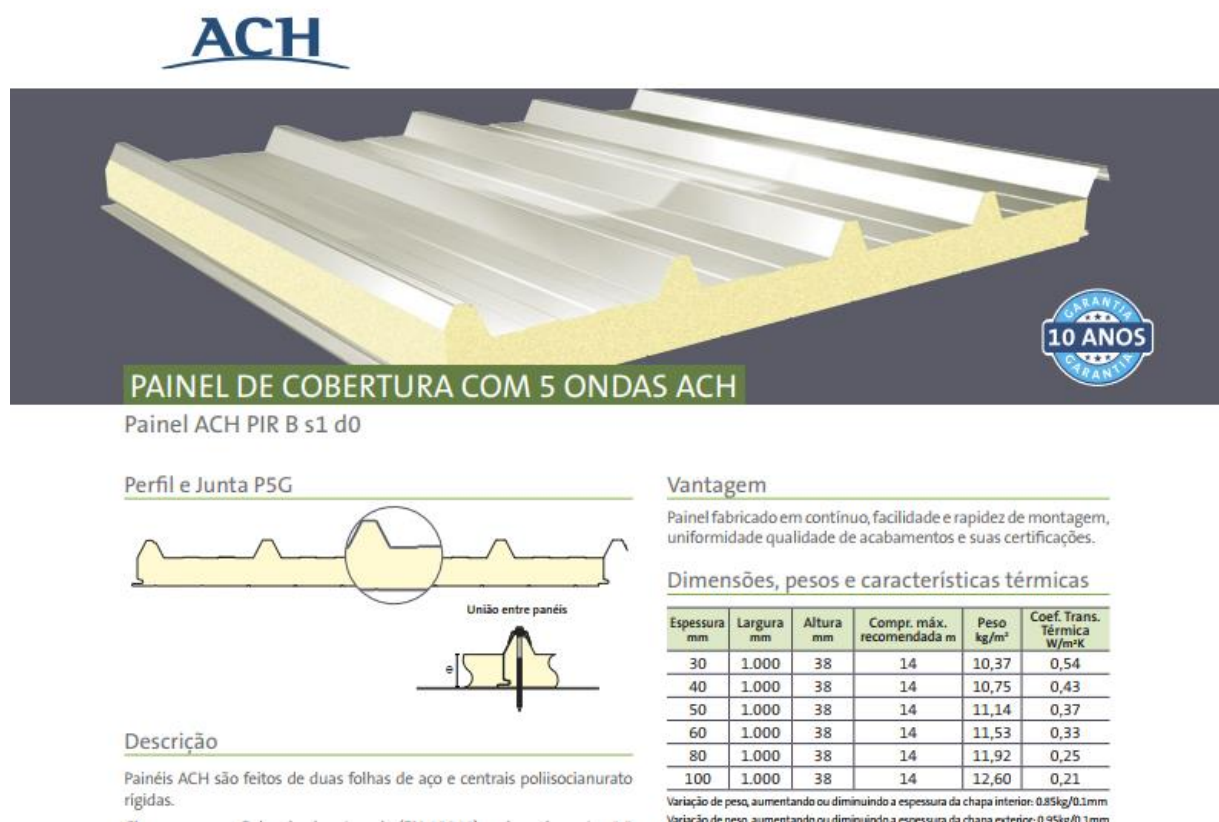


Fig. 16 - Informações sobre coeficiente de transmissão térmica (U) presentes em ficha técnica de painel sanduíche de cobertura.

Fonte: ACH

No caso do valor do coeficiente de transmissão térmica (U) não ser informado na ficha técnica diretamente, ou para soluções construtivas compostas, como as paredes duplas de fachada, essa pode ser definida pelo inverso do somatório das resistências térmicas (R) de todas as camadas que compõe o elemento. As resistências térmicas (R) podem ser calculadas por sua vez a partir da condutibilidade térmica (λ) dos materiais homogêneos, pelo qual se divide a espessura da camada para resultar na resistência térmica. No cálculo do coeficiente de transmissão térmica é necessário considerar também as resistências térmicas superficiais interior (R_{si}) e exterior (R_{se}), como pode ser observado na equação 4.1 abaixo:

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum_j R_j + R_{si}} \quad (4.1)$$

Para além dele, a massa do material (m) será também considerada como um indicador funcional na presente análise. Isso se deve pelo fato de que no edifício do caso de estudo o peso total é relevante, uma vez que este foi projetado para flutuar em caso de cheias, e a quantidade de boias possíveis de serem utilizadas estão limitadas à área sob o pavimento térreo. Nesse contexto, quanto menor a massa da solução construtiva por metro quadrado (kg/m^2) melhor será seu desempenho em relação a esse indicador.

É importante ressaltar que, em outras situações, um aumento de massa poderia ser benéfico ao edifício estudado, em relação a propriedades acústicas por exemplo, ou em locais com alta incidência de vento. De modo que se deve entender que a presente análise do indicador levou em consideração o que seria mais vantajoso para o caso de estudo em questão.

Os pesos do coeficiente de transmissão térmica (U) e da massa total por metro quadrado (m) irão variar no cálculo do desempenho funcional da solução construtiva de acordo com a função que está terá no edifício, pelo motivo dos indicadores não serem os mesmos para as soluções de cobertura, pavimento e fachada.

4.3.2. INDICADORES DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA REVESTIMENTO DE COBERTURA

Para as soluções construtivas estudadas para a função de revestimento de cobertura, o outro indicador a ser analisado é a carga máxima aplicável quando biapoiado. Esse indicador está presente nas fichas técnicas (Figura 17) de todos os materiais analisados para tal função, e representa a carga máxima aplicável sobre o painel de cobertura apoiado em cada um dos lados. Essa característica é importante pois está previsto para o projeto do caso de estudo a existência de painéis solares térmicos e painéis fotovoltaicos sobre a cobertura do edifício balnear. Assim sendo, quanto maior a sobrecarga que possa ser aplicada sobre o painel, melhor será o comportamento dele, o que poderia inclusive resultar na redução da quantidade de madres de cobertura, que implica em menos gastos e menor impacto ambiental. Como forma de uniformizar os dados comparados, no presente trabalho foram utilizadas as informações referentes a sobrecarga máxima aplicável para um vão de 2,00m.

Propriedades mecânicas de Flexão

Tabela sobrecarga biapoiado.

Sobrecarga (kg/m ²)		Luz (m)				
		2,00	2,25	2,75	3,25	3,50
Espessura (mm)	30	210	175	-	-	-
	40	255	218	172	-	-
	50	315	279	235	198	165
	60	340	320	275	235	220
	80	431	379	345	288	250

Sobrecarga (kg/m ²)		Luz (m)				
		3,50	4,00	4,50	5,00	5,50
Espessura 100 mm		285	200	158	125	104

Seta L/200.

Fig. 17 - Informações sobre sobrecarga máxima aplicável presentes em ficha técnica de painel sanduíche de cobertura.

Fonte: ACH

Para as soluções construtivas avaliadas no presente trabalho, foi possível encontrar informações técnicas sobre outras características de cada material que não foram consideradas como indicadores na avaliação, como a classe de reação ao fogo e a permeabilidade ao vapor de água.

No caso da classe de reação ao fogo, os materiais são classificados de acordo com uma escala alfabética (A1, A2, B, C, D, E e F), que resultam da execução de diversos ensaios, sendo por isso difícil em representar numericamente o valor de cada uma dessas classes de modo que fosse possível compará-las no método utilizado no presente trabalho, principalmente no caso dos materiais classificados como F em relação à reação ao fogo, pois equivale a desempenho não determinado nos ensaios necessários. Além disso, como a construção analisada no caso de estudo possui somente o pavimento rés do chão, e ser de fácil evacuação levando em consideração as distâncias à porta exterior, esse parâmetro não seria dos mais relevantes na presente análise.

Em relação à permeabilidade ao vapor de água, entende-se que seja uma característica importante de ser analisada principalmente devido à localização estudada para o edifício do caso de estudo, porém todas as soluções construtivas avaliadas apresentam o mesmo valor para esse comportamento, de modo que torna irrelevante a consideração desse indicador em uma análise comparativa.

Os indicadores e pesos considerados para o desempenho funcional das soluções construtivas de revestimento de cobertura são apresentados abaixo no quadro 10:

Quadro 10 - Categorias e indicadores analisados na dimensão funcional para revestimentos de cobertura

Categoria	Peso da Categoria (%)	Indicador	Peso do Indicador (%)
Conforto Térmico	30	Coeficiente de Transmissão Térmica (U) - [W/m ² .K]	100
Peso	30	Massa total por metro quadrado (m) – [kg/m ²]	100
Resistência Mecânica	40	Sobrecarga Máxima Aplicável (CM) - [kg/m ²]	100

4.3.3. INDICADORES DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA PAVIMENTO

Na avaliação da dimensão funcional das soluções construtivas estudadas para o pavimento do edifício, foi considerado como indicador, além do coeficiente de transmissão térmica e a massa por metro quadrado já citados, a resistência à flexão mecânica. Esses são dados encontrados para todos os materiais e são importantes para o edifício do caso de estudo já que os pavimentos avaliados terão função estrutural e não somente de revestimento. Assim como no caso dos revestimentos de cobertura, uma maior resistência à flexão permite um maior espaçamento entre as vigas do pavimento, reduzindo assim o consumo de material na obra.

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

PROPRIEDADES	TESTE	UNIDADE	GAMA DE ESPESSURAS (mm)					
			> 3 - 4	> 4 - 6	> 6 - 9	> 9 - 12	> 12 - 19	> 19 - 30
Densidade*	EN 323	Kg/m ³	840 ± 30	820 ± 30	780 ± 30	770 ± 30	780 ± 30	730 ± 30
Inchamento (24 horas)	EN 317	%	30	18	12	10	8	7
Resistência à tração	EN 319	N/mm ²	0,70	0,70	0,80	0,80	0,75	0,75
Resistência à flexão	EN 310	N/mm ²	34	34	34	32	30	28
Módulo de elasticidade	EN 310	N/mm ²	3000	3000	3000	2800	2700	2600
Resistência à tração após teste cíclico	EN 321	N/mm ²	0,35	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Inchamento após teste cíclico	EN 321	%	40	25	19	16	15	15

* Deve ser usado somente como referência.

Fig. 18 - Características mecânicas apresentadas na ficha técnica de aglomerado de fibras de média densidade (MDF).

Fonte: Sonae Arauco

Na avaliação funcional das soluções construtivas para o pavimento, os indicadores de resistência à flexão foram considerados na categoria de resistência mecânica. O peso de cada indicador pode ser observado no quadro 11.

Quadro 11 - Categorias e indicadores analisados na dimensão funcional para pavimentos

Categoria	Peso da Categoria (%)	Indicador	Peso do Indicador (%)
Conforto Térmico	20	Coeficiente de Transmissão Térmica (U) - [W/m ² .K]	100
Peso	20	Massa total por metro quadrado (m) - [kg/m ²]	100
Resistência Mecânica	60	Resistência à Flexão Mecânica (RF) - [N/mm ²]	100

4.3.4. INDICADORES DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA REVESTIMENTOS DE FACHADA

No caso das soluções construtivas para o revestimento de fachada, foi considerado como indicador na avaliação da funcionalidade da solução a espessura total ocupada por esta. Devido ao alinhamento definido no projeto arquitetónico, o aumento da espessura total da solução construtiva implicaria em menor área útil no edifício.

No edifício balnear analisado, as fachadas são a maior área de contacto do edifício com o ambiente exterior, e por isso tem maior impacto no conforto térmico dos utilizadores. Dessa forma considerou-se o peso desse indicador com maior importância para as soluções construtivas de fachada do que das outras funções analisadas, como demonstrado no quadro 4.4:

Quadro 12 - Categorias e indicadores analisados na dimensão funcional para revestimentos de fachada

Categoria	Peso da Categoria (%)	Indicador	Peso do Indicador (%)
Conforto Térmico	50	Coeficiente de Transmissão Térmica (U) - [W/m ² .K]	100
Peso	30	Massa total por metro quadrado (m) - [kg/m ²]	100
Área útil	20	Espessura total (e) - [mm]	100

4.4. DIMENSÃO ECONÔMICA

O custo do uso de um material tem grande impacto na tomada decisão do que será utilizado na construção de um edifício, é necessário que a escolha de uma determinada solução não inviabilize economicamente o projeto. Além disso, por vezes é, mas vantajoso escolher um material que possa apresentar um maior impacto ambiental ou pior comportamento, mas que permita que haja investimento em equipamentos que aumente o nível global de sustentabilidade, como painéis fotovoltaicos ou equipamentos para reaproveitamento de águas das chuvas.

É necessário entender que o custo da construção por si só pode levar ao engano, pois, durante o período em que for utilizado o edifício, será necessário realizar manutenções, as quais os custos destas devem também ser levados em consideração na escolha dos materiais a serem utilizados.

Desse modo, a avaliação da dimensão econômica é feita a partir de dois indicadores: custo de execução e custo de utilização. Como os custos de utilização são uma estimativa relacionada ao custo de ciclo de vida do material, o qual depende, de entre outros fatores, da correta utilização do edifício, inclusive com a realização de manutenções periódicas, este pode variar consideravelmente em relação ao valor obtido através do Gerador de Preços. Assim, no presente trabalho, optou-se por dar maior peso ao custo de execução, tendo em vista que este pode ser considerado um valor mais preciso (Quadro 13).

Quadro 13 - Categorias e indicadores analisados na dimensão econômica

Indicador	Peso do Indicador (%)
Custo de execução - [€/m²]	70
Custo de Utilização - [€/m².ano]	30

As composições de preço utilizadas nos cálculos foram obtidas, em sua maioria, no Gerador de Preços do Cype, o qual leva em consideração o custo do material, da mão de obra e dos acessórios necessários para a montagem. Sempre que possível, alterou-se o preço unitário do material informado pelo Cype pelo preço real, a partir de consultas a lojas e fornecedores.

FLA030 m² Parede de fachada de painéis sandwich isolantes, de aço.

66,48€

Parede de fachada de painéis sandwich isolantes, de 50 mm de espessura e 1100 mm de largura, formados por dupla face metálica de chapa lisa de aço galvanizado, de espessura exterior 0,5 mm e espessura interior 0,5 mm e alma isolante de lã de rocha de 100 kg/m³ de densidade média, colocados em posição vertical e fixados mecanicamente com sistema de fixação oculta a uma estrutura portante ou auxiliar. Inclusive acessórios de fixação dos painéis e fita flexível de butilo, adesiva em ambas as faces, para a selagem de estanquidade das sobreposições entre painéis sandwich. O preço não inclui a estrutura suporte nem a resolução de pontos singulares.

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt12ppi100aej	m²	Painel sandwich isolante para fachadas, de 50 mm de espessura e 1100 mm de largura, formado por dupla face metálica de chapa lisa de aço galvanizado, de espessura exterior 0,5 mm e espessura interior 0,5 mm e alma isolante de lã de rocha de 100 kg/m³ de densidade média, com junta desenhada para fixação com parafusos ocultos.	1,050	43,49	45,66
mt13ccg030h	Ud	Parafuso auto-roscante de 6,5x130 mm de aço inoxidável, com anilha.	8,000	0,87	6,96
mt13dcp020a	m	Fita flexível de butilo, adesiva em ambas as faces, para a selagem de estanquidade das sobreposições entre painéis sandwich.	2,000	2,05	4,10
mo051	h	Oficial de 1ª montador de painéis metálicos.	0,220	19,73	4,34
mo098	h	Ajudante de montador de painéis metálicos.	0,220	18,74	4,12
% Custos directos complementares			2,000	65,18	1,30
Custo de manutenção decenal: 5,32€ nos primeiros 10 anos.			Total:		66,48

Fig. 19 - Exemplo de composição de preço obtida no Gerador de Preços.

Fonte: CYPE Ingenieros, S.A. (2021)

No caso de soluções construtivas compostas, como no caso de algumas paredes de fachada analisadas, os custos foram obtidos através do somatório dos custos das partes que compõe a solução. Entende-se que ao fazer isso pode se estar a minorar alguns custos, nomeadamente de fixação entre os diferentes materiais, ao mesmo tempo que é possível que outros custos estejam majorados, nomeadamente custos relacionados à mão de obra, como o transporte dos trabalhadores.

Quando não foi possível encontrar alguma das soluções analisadas no banco de dados do Gerador de Preços da Cype, procurou-se por alguma solução semelhante, a qual o método de execução ou montagem fosse próximo da solução construtiva estudada, e alterava-se somente o preço unitário do material.

Diferentemente dos indicadores ambientais e funcionais, os quais só seriam alterados caso houvesse mudanças na matéria-prima ou no procedimento de fabricação dos materiais, e implicaria na realização de novos ensaios e na produção de novas declarações técnicas, os indicadores econômicos variam de acordo com o preço do produto no mercado. Tais variações acontecem não somente a longo prazo em decorrência da inflação ou de variação cambial, mas podem também acontecer em curtos períodos devido a maior demanda internacional, como foi o caso do preço do aço que, durante o período de produção deste trabalho, teve um incremento de quase 50% em seu custo em Portugal, o que implicou no aumento de produtos que o utilizem como matéria-prima. Dessa forma é importante perceber os resultados da dimensão econômica como o reflexo do momento da realização da presente avaliação.

4.5. NORMALIZAÇÃO DOS INDICADORES

Devido aos indicadores terem escalas que diferem bastante entre si, é necessário que haja uma normalização dos valores de forma que a diferença de escala não influencie no resultado do cálculo dos níveis de sustentabilidade em cada uma das dimensões. Nos métodos MARS-SC e no SBTool^{PT} a normalização é feita utilizando os valores da melhor prática e da prática convencional para a função que será exercida pela solução construtiva estudada, aplicados na seguinte equação:

$$\underline{P}_i = \frac{P_i - P_{i*}}{P_i^* - P_{i*}} \quad (4.2)$$

Na qual: $\underline{P}_i$ é o valor normalizado da solução estudada;

P_i é o valor da solução estudada;

P_{i*} é o valor da prática convencional;

P_i^* é o valor da melhor prática.

O valor da melhor prática é definido por projetistas ou promotores reconhecidos na área de construção sustentável, enquanto o valor da prática convencional em geral se refere aos requisitos mínimos que devem ser cumpridos pela solução construtiva, podendo este estar definido em normas. Em alguns trabalhos a prática convencional faz referência a solução corrente adotada no local para onde está sendo feita a análise, mesmo que essa seja superior aos requisitos mínimos, ou que não os atinja.

A utilização desses valores na normalização permite que seja feita uma avaliação absoluta, garantindo que seja possível comparar diretamente o resultado obtido em trabalhos diferentes, já que os valores de melhor prática e prática convencional não se alterariam.

No presente trabalho, no entanto, como o objetivo é analisar diferentes soluções construtivas em comparação com aquelas definidas no projeto do caso de estudo, foram feitas avaliações relativas nos quais os indicadores foram normalizados a partir dos valores das soluções estudadas. Ou seja, ao invés de a “melhor prática” ser a mesma para todos os indicadores, esta será a solução estudada que apresenta o melhor resultado para aquele indicador analisado. O mesmo ocorre com a “prática convencional”, que

será a solução estudada que apresenta o pior resultado para o indicador analisado, e será chamada de “pior prática” neste trabalho.

Para exemplificar, no Quadro 14 abaixo, são apresentadas três soluções construtivas distintas para fachadas, e os seguintes indicadores: Potencial de Aquecimento Global (GWP), Uso Total de Energia Primária Renovável (PENRT) e Percentual de Energia Primária Renovável Utilizada em Relação ao Total de Energia Primária Utilizada (PEPU). Nesse exemplo o Pannel Sandwich de fachada 50 (PIR) seria a pior prática para os indicadores GWP e PEPU, ao mesmo tempo que seria a melhor prática para o indicador PENRT. A melhor prática para os indicadores de Potencial de Aquecimento Global e Percentual de Energia Primária Não Renovável Utilizada seria a solução construtiva composta Aquapanel (12,5 mm) + LDR (50 mm) + MDF (16 mm), e a pior prática para o indicador de Energia Primária Não Renovável Utilizada seria a solução composta Viroc (12 mm) + XPS (50 mm) + MDF (16 mm).

Quadro 14 - Exemplo de melhor prática (em negrito) e pior prática (em sombreado) para normalização

Solução Construtiva	GWP (kg CO ₂ -Eq.)	PENRT (MJ)	PEPU
Pannel Sandwich de fachada 50 mm (PIR)	21,07	287,15	0,07
Viroc (12 mm) + XPS (50 mm) + MDF (16 mm)	14,13	566,46	0,39
Aquapanel (12,5 mm) + LDR (50 mm) + MDF (16 mm)	3,54	337,37	0,46

Assim, os valores normalizados para os indicadores listados acima da solução construtiva Viroc (12 mm) + XPS (50 mm) + MDF (16 mm) seriam calculados da seguinte maneira:

$$\frac{P_{GWP}}{P_{GWP}^*} = \frac{P_{GWP} - P_{GWP*}}{P_{GWP}^* - P_{GWP*}} = \frac{14,13 - 21,07}{3,54 - 21,07} = 0,396$$

$$\frac{P_{PENRT}}{P_{PENRT}^*} = \frac{P_{PENRT} - P_{PENRT*}}{P_{PENRT}^* - P_{PENRT*}} = \frac{566,46 - 287,15}{566,46 - 287,15} = 0,00$$

$$\frac{P_{PEPU}}{P_{PEPU}^*} = \frac{P_{PEPU} - P_{PEPU*}}{P_{PEPU}^* - P_{PEPU*}} = \frac{0,39 - 0,07}{0,46 - 0,07} = 0,820$$

4.5. NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE GLOBAL

Uma vez calculado o valor de desempenho de sustentabilidade para cada uma das três dimensões, é então possível combinar esses valores para obter o nível de sustentabilidade global. É a partir desse valor que será definida qual a melhor opção dentre as soluções construtivas analisadas, uma vez que as dimensões ambiental, funcional e econômica devem ser salvaguardadas, e conviver harmonicamente em um projeto e na construção de um edifício sustentável.

O cálculo do nível de sustentabilidade global é feito atribuindo pesos para cada uma das dimensões analisadas previamente, da mesma forma como foi feito com os indicadores no cálculo do desempenho em cada dimensão. A definição do peso que cada dimensão tem no cálculo do desempenho global levou em consideração a quantidade de informação disponível para análise de cada dimensão de sustentabilidade individualmente, o tipo de uso do edifício para o qual as soluções construtivas estão a ser analisadas, a importância da questão ambiental e a disponibilidade econômica.

No presente trabalho a dimensão ambiental tem maior importância no nível de sustentabilidade global, pois além do maior número de indicadores analisados, o edifício será financiado e administrado por um órgão público, e ficará em zonas de proteção ambiental. O financiamento público implica também numa necessidade de respeitar o orçamento pré-estabelecido, além do que, um menor custo possibilitaria a replicação do projeto em outros locais. Em compensação, devido o edifício ter como função principal servir de balneário para os praticantes de desportos náuticos, os utentes somente o utilizarão por curtos períodos de tempo, de forma que na presente análise essa é a dimensão de menor importância. Os pesos de cada dimensão são apresentados no quadro 15 a seguir:

Quadro 15 - Peso de cada dimensão no cálculo do nível de sustentabilidade global

Dimensão	Peso da dimensão (%)
Ambiental	50
Funcional	20
Econômica	30

4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como as avaliações são feitas a partir de comparações sem considerar soluções construtivas além das analisadas no presente trabalho, não é possível atribuir uma classificação geral para as soluções construtivas analisadas. Dessa forma, as soluções analisadas serão comparadas entre si e classificadas de melhor para pior tanto no tocante ao desempenho em cada uma das três dimensões, quanto no nível de sustentabilidade global.

Por outros fatores não analisados no presente trabalho, como características estéticas e disponibilidade do produto no momento da construção, serem também importantes para a escolha do material a ser utilizado na construção, cada solução construtiva estudada será também comparada individualmente com o que havia sido originalmente proposto e aprovado no projeto do caso de estudo, de forma que todas aquelas que tenham um desempenho igual ou superior à solução original sejam classificadas como aprovadas, e aquelas que tenham um desempenho inferior à solução original sejam classificadas como reprovadas.

Representações gráficas do nível de sustentabilidade global foram produzidas para cada solução construtiva avaliada, de forma que seja mais fácil perceber o desempenho destas em cada dimensão e globalmente. A figura é formada por oito vetores, cada um representando uma das categorias analisadas na avaliação de sustentabilidade, permitindo que ao sobrepor as representações gráficas de duas soluções construtivas diferentes possa se perceber facilmente qual apresenta melhor desempenho em cada categoria. No entanto, é necessário ter cuidado ao realizar a análise comparativa do nível de sustentabilidade somente pelas figuras geradas, pois na representação gráfica não está representado o peso que cada categoria tem no cálculo do desempenho global de sustentabilidade daquela solução construtiva, servindo mais para auxiliar a interpretação dos resultados. Dessa forma, o uso da

representação gráfica é útil para que, uma vez que a partir do nível de desempenho global e de cada dimensão individual já se tenha definido a melhor solução construtiva entre duas analisadas, seja possível perceber se o mesmo se reflete em todas as categorias ou se é causado por um desempenho melhor em uma categoria de maior peso no cálculo do nível global. Abaixo é apresentado um exemplo de sobreposição de dois gráficos do nível global de sustentabilidade na figura 20:

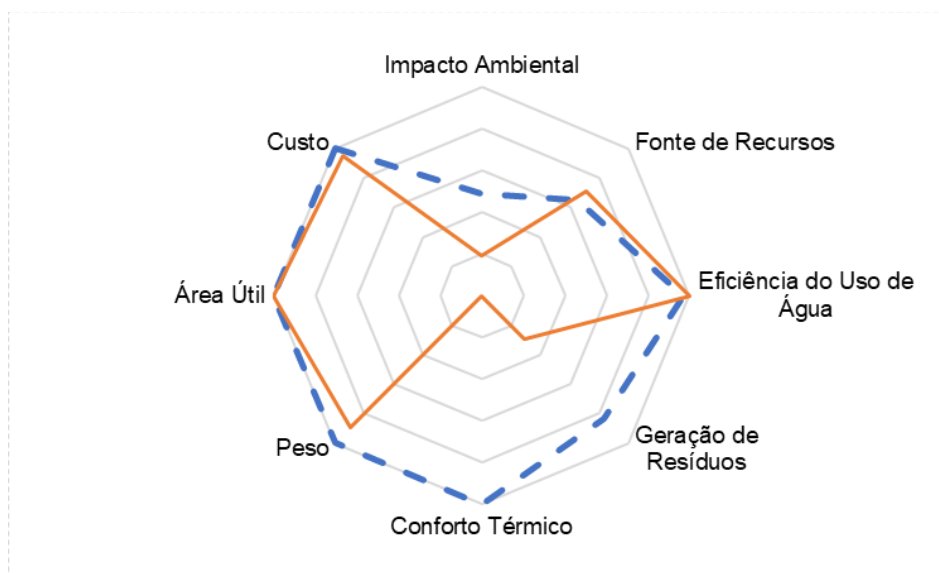


Fig. 20 - Sobreposição das representações gráficas do desempenho sustentável de uma solução construtiva alternativa para fachada (em laranja) e da solução projetada (em azul tracejado).

5

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será aplicada a metodologia apresentada no capítulo anterior para as soluções construtivas estudadas para as funções de revestimento de cobertura, revestimento de fachada e pavimento. Para cada uma dessas funções serão feitas as avaliações de sustentabilidade considerando os indicadores apresentados anteriormente.

A escolha das soluções construtivas alternativas ao projeto teve dois critérios principais: era necessário que a solução não implicasse em alterações nos projetos de outras especialidades, nomeadamente estabilidade e instalações hidráulicas, e que fosse possível adquirir o material em Portugal.

5.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DE COBERTURA

Como mostrado no capítulo do caso de estudo, a solução de projeto para a cobertura do edifício balnear é painel sandwich com isolamento em poliuretano de 40 mm de espessura, que utilizam um sistema de fixação formado por madres metálicas apoiadas nas asnas do edifício. Existem diversos tipos de painéis sandwich de cobertura, fabricados por diversas marcas, sendo os mais comuns na construção portuguesa os em chapa de aço galvanizado (podendo ou não ser lacadas), com isolamento em poliuretano (PUR), em poliisocianurato (PIR) ou em lã de rocha. É possível também encontrar painéis sandwich que usem madeira como revestimentos interior e exterior, sendo estes produzidos por uma quantidade bem menor de fabricantes. Assim, selecionou-se cinco painéis sandwich de tipos diferentes para comparar com a solução proposta em projeto (Solução Construtiva P - SP), sendo estes:

- Solução Construtiva A (SA): painel sandwich de cobertura com 5 ondas, isolamento em poliisocianurato (PIR) 40 mm;
- Solução Construtiva B (SB): painel sandwich de cobertura com 5 ondas, isolamento em lã de rocha 40 mm;
- Solução Construtiva C (SC): painel sandwich MDF/OSB com isolamento em poliestireno extrudido (XPS) 40 mm;
- Solução Construtiva D (SD): painel sandwich MDF/MDF com isolamento em poliestireno extrudido (XPS) 40 mm;
- Solução Construtiva E (SE): painel sandwich MDF/Cimento madeira com isolamento em poliestireno extrudido (XPS) 40 mm.

Os dados das soluções construtivas estudadas para os indicadores analisados para os revestimentos de cobertura são apresentados no quadro 16 abaixo, onde a melhor prática para cada indicador está em **negrito** e a pior prática **sombreada**.

Quadro 16 - Dados das soluções construtivas analisadas para revestimentos de cobertura

Indicador	SP	SA	SB	SC	SD	SE
Ambientais						
GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	21,069	21,069	23,712	-5,845	-0,165	10,514
ODP - [kg CFC11-Eq.]	1,63E-06	1,63E-06	2,17E-06	1,24E-06	1,75E-06	1,24E-06
AP - [kg SO ₂ -Eq.]	0,085	0,085	0,126	0,116	0,144	0,127
EP - [kg (PO ₄) ³ -Eq.]	0,015	0,015	0,041	0,016	0,020	0,017
POCP - [kg ethene-Eq.]	0,007	0,007	0,010	0,014	0,011	0,011
ADPE - [kg Sb-Eq.]	9,87E-05	9,87E-05	1,04E-04	7,24E-05	1,04E-04	8,30E-05
ADPF - [MJ]	273,000	273,000	245,000	498,883	624,758	538,973
PENRT - [MJ]	287,147	287,147	265,474	509,954	636,036	562,479
PEPU - [adimensional]	7%	7%	9%	50%	42%	41%
FW - [m ³]	0,227	0,227	0,122	0,349	0,511	0,383
HWD - kg/FU	1,06E-03	1,06E-03	1,63E-02	2,91E-04	4,33E-04	2,90E-04
NHWD - kg/FU	4,580	4,580	6,110	1,172	1,762	1,497
RWD - kg/FU	7,51E-04	7,51E-04	9,70E-04	3,43E-03	3,28E-03	8,26E-03
Funcionais						
U - [W/m ² .K]	0,54	0,43	0,621	0,65	0,66	0,67
m - [kg/m ²]	10,75	10,75	14,4	20,33	20,83	27,63
CM - [kg/m ²]	255	255	115	230	180	230
Econômicos						
Custo (€/m ²)	31,56	33,06	39,34	48,93	40,90	61,09
Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	9,15	9,59	11,41	8,32	6,95	10,38

5.2.1. PAINEL SANDWICH DE COBERTURA (PUR) 40 MM (SP)

Como mencionado anteriormente, diversas marcas fabricam painéis sandwich de cobertura em chapa de aço galvanizado. No presente trabalho, para realizar a avaliação da solução projetada para cobertura, foram utilizados dados obtidos da declaração ambiental de produto e da ficha técnica publicadas por uma marca com presença em diversos países incluindo Portugal. A EPD utilizada teve como operador *The International EPD System*, e abrange painéis sandwich em poliuretano (PUR) e poliisocianurato (PIR) com diferentes espessuras de chapas e revestimentos. Os custos utilizados na avaliação foram obtidos a partir da composição de preço para montagem de painel sandwich disponível no Gerador de Preços da Cype, com o valor unitário do painel sandwich obtido na tabela de preços da *Precio Centro Guadalajara*, uma base de dados publicada anualmente na Espanha. Isso é possível uma vez que os preços de painel sandwich são semelhantes em Portugal e no país vizinho.

Os valores normalizados para cada um dos indicadores analisados para as coberturas foram obtidos aplicando a metodologia apresentada no Capítulo 4 do presente trabalho e estão apresentados no quadro 17 a seguir:

Quadro 17 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de cobertura 40 mm (PUR)

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,089	30	0,027
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,581	10	0,058
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	1,000	10	0,100
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	1,000	10	0,100
	POCP - [kg ethene-Eq.]	1,000	10	0,100
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,175	15	0,026
	ADPF - [MJ]	0,926	15	0,139
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,942	70	0,659
	PEPU – [adimensional]	0,000	30	0,000
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,730	100	0,730
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,952	50	0,476
	NHWD - kg/FU	0,310	20	0,062
	RWD - kg/FU	1,000	30	0,300
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,542	100	0,542
Peso	m – [kg/m ²]	1,000	100	1,000
Resistência Mecânica	CM - [kg/m ²]	1,000	100	1,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	1,000	70	0,700
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,506	30	0,152

Com esses valores foi possível calcular o desempenho do painel sandwich de cobertura 40 mm com isolamento em poliuretano para as oito categorias analisadas para soluções construtivas de cobertura (Quadro 18).

Quadro 18 - Desempenho de sustentabilidade do painel sandwich de cobertura 40 mm (PUR) para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,550	25	0,138
	Fonte de Recursos	0,659	40	0,264
	Eficiência do Uso de Água	0,730	15	0,110
	Geração de Resíduos	0,838	20	0,168
Funcional	Conforto Térmico	0,542	30	0,163
	Peso	1,000	30	0,300
	Resistência Mecânica	1,000	40	0,400
Econômica	Custo	0,852	100	0,852

Com o valor do desempenho da solução em cada categoria, foi possível criar um perfil de sustentabilidade (figura 21), utilizado posteriormente para compara a solução de projeto com as demais soluções construtivas analisadas.

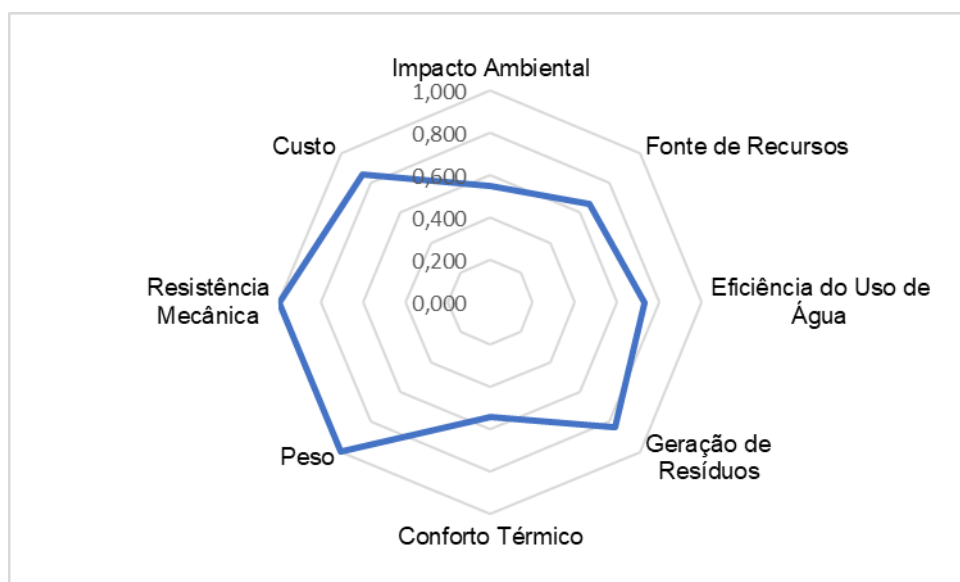


Fig. 21 - Perfil de sustentabilidade da solução projetada para cobertura

No perfil de sustentabilidade se nota que o painel sandwich analisado apresenta excelente desempenho em relação à resistência mecânica e ao peso, e seus piores desempenhos são nas categorias de impacto ambiental e de conforto térmico.

O nível de desempenho do painel sandwich com 40 mm de isolamento em poliuretano como cobertura para cada dimensão da construção sustentável é apresentado a seguir (quadro 19), assim como o nível de desempenho global desta solução construtiva.

Quadro 19 - Nível de desempenho da solução projetada para cobertura

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,77
Ambiental	0,678
Funcional	0,863
Econômica	0,852

5.2.2. PAINEL SANDWICH DE COBERTURA (PIR) 40 MM (SA)

Muito semelhante à solução projetada, o painel sandwich com isolamento em PIR só difere da solução apresentada anteriormente pelo material do isolamento. Dessa forma, foi utilizada a mesma EPD como fonte de dados ambientais, e foi utilizada também uma ficha técnica para esse produto da mesma marca da utilizada para o painel sandwich com isolamento em PUR. Os custos utilizados foram baseados na mesma composição utilizada para a solução projetada, com o valor unitário do material obtido através de consulta comercial.

Com essas informações, foram calculados os valores normalizados para cada indicador (Quadro 20):

Quadro 20 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de cobertura 40 mm (PIR)

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,089	30	0,027
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,581	10	0,058
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	1,000	10	0,100
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	1,000	10	0,100
	POCP - [kg ethene-Eq.]	1,000	10	0,100
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,175	15	0,026
	ADPF - [MJ]	0,926	15	0,139
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,942	70	0,659
	PEPU – [adimensional]	0,000	30	0,000
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,730	100	0,730
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,952	50	0,476
	NHWD - kg/FU	0,310	20	0,062
	RWD - kg/FU	1,000	30	0,300
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	1,000	100	1,000
Peso	m – [kg/m ²]	1,000	100	1,000
Resistência Mecânica	CM - [kg/m ²]	1,000	100	1,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,949	70	0,664
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,409	30	0,123

O desempenho da solução construtiva estudada para cada categoria analisada para as coberturas é apresentado no quadro 21. Obteve-se o perfil de sustentabilidade do painel sandwich de cobertura com 40 mm de isolamento em PIR a partir dos valores calculados para cada categoria (figura 22).

Quadro 21 - Desempenho de sustentabilidade do painel sandwich de cobertura 40 mm (PIR) para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,550	25	0,138
	Fonte de Recursos	0,659	40	0,264
	Eficiência do Uso de Água	0,730	15	0,110
	Geração de Resíduos	0,838	20	0,168
Funcional	Conforto Térmico	1,000	30	0,300
	Peso	1,000	30	0,300
	Resistência Mecânica	1,000	40	0,400
Econômica	Custo	0,787	100	0,787

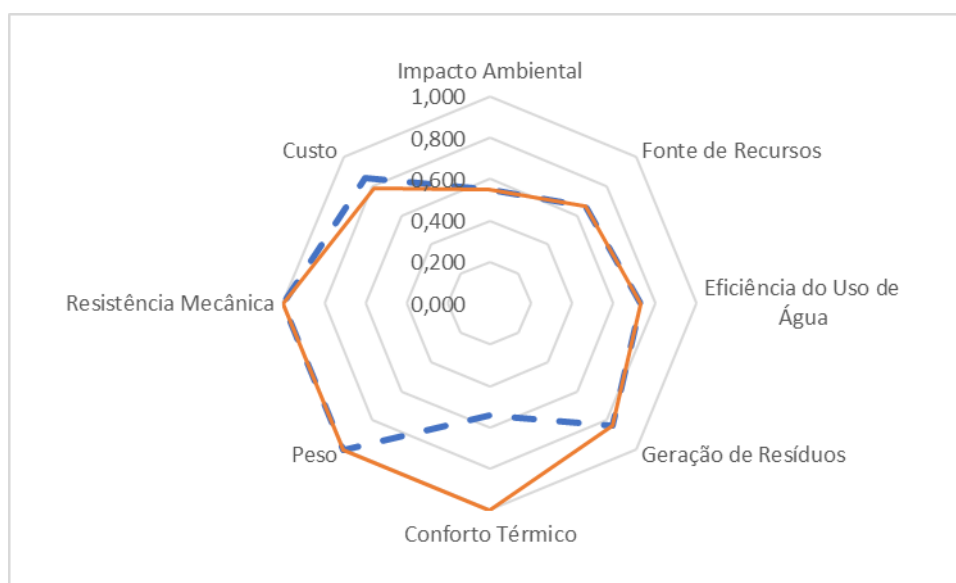


Fig. 22 - Perfil de sustentabilidade da solução estudada em painel sandwich de cobertura 40 mm (PIR) (em laranja) sobre a solução de projeto (em azul tracejado)

Pelo perfil de sustentabilidade é possível perceber que o painel sandwich com isolamento em PIR apresenta desempenho melhor ou igual à solução de projeto em todas as categorias com exceção da de custo, na qual fica ligeiramente abaixo.

No quadro 22 abaixo, estão apresentados os valores de desempenho da solução estudada para cada uma das três dimensões da construção sustentável, assim como o nível global de sustentabilidade.

Quadro 22 - Nível de desempenho do painel sandwich (PIR) 40 mm para cobertura

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,78
Ambiental	0,678
Funcional	1,000
Econômica	0,787

5.2.3. PAINEL SANDWICH DE COBERTURA (LÃ DE ROCHA) 40 MM (SB)

Para a avaliação do painel sandwich com isolamento em lâ de rocha também foram utilizados dados de documentos publicados pela mesma marca que serviu de fonte para os painéis sandwich já citados. A declaração ambiental de produto para esta solução construtiva teve como operador *The International EPD Program*, assim como os dois tipos de painel sandwich citados anteriormente, no entanto o documento em si não foi o meso. Foi utilizada a mesma composição de preço disponível no Gerador de Preços da Cype que a utilizada para os outros painéis sandwich com chapa em aço galvanizado, e o valor unitário utilizado do metro quadrado do painel sandwich com isolamento em lâ de rocha também foi obtido na tabela de preços da *Precio Centro Guadalajara*.

A partir dos dados obtidos, os valores normalizados encontrados para os indicadores analisados são apresentados a seguir (Quadro 23):

Quadro 23 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de cobertura 40 mm com isolamento em lã de rocha

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,000	30	0,000
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,000	10	0,000
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,307	10	0,031
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,000	10	0,000
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,622	10	0,062
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,009	15	0,001
	ADPF - [MJ]	1,000	15	0,150
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	1,000	70	0,700
	PEPU – [adimensional]	0,027	30	0,008
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	1,000	100	1,000
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,000	50	0,000
	NHWD - kg/FU	0,000	20	0,000
	RWD - kg/FU	0,971	30	0,291
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,204	100	0,204
Peso	m – [kg/m ²]	0,784	100	0,784
Resistência Mecânica	CM - [kg/m ²]	0,000	100	0,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,737	70	0,516
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,000	30	0,000

Com os valores normalizados para cada indicador, calculou-se o desempenho da solução de painel sandwich com isolamento em lã de rocha para as categorias analisadas para as coberturas, estes são apresentados no quadro 24. O perfil de sustentabilidade da solução construtiva estudada é visto na figura 23.

Quadro 24 - Desempenho em cada categoria do painel sandwich de cobertura 40 mm com isolamento em lã de rocha

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,244	25	0,061
	Fonte de Recursos	0,708	40	0,283
	Eficiência do Uso de Água	1,000	15	0,150
	Geração de Resíduos	0,291	20	0,058
Funcional	Conforto Térmico	0,204	30	0,061
	Peso	0,784	30	0,235
	Resistência Mecânica	0,000	40	0,000
Econômica	Custo	0,516	100	0,516

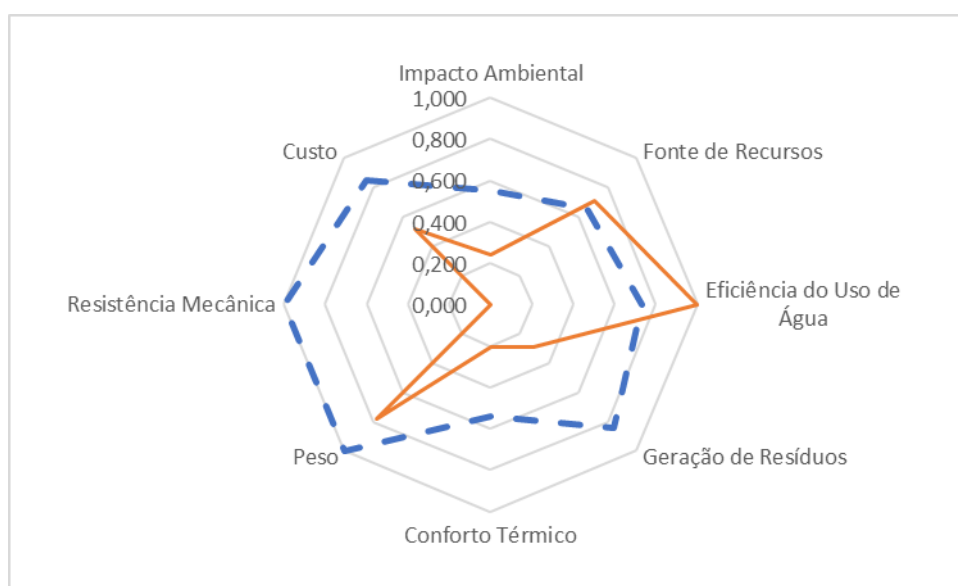


Fig. 23 - Perfil de sustentabilidade da solução em painel sandwich com isolamento em lã de rocha com 40 mm de espessura (em laranja) sobre o perfil da solução projetada (em azul tracejado)

A solução alternativa estudada tem um desempenho pior em todas as categorias com exceção da Fonte de Recursos e da Eficiência do Uso de Água. Isso fica claro ao notar que o perfil de sustentabilidade da solução com isolamento em lã de rocha fica quase que completamente inserido no perfil de sustentabilidade da solução com isolamento em poliuretano.

Para o painel sandwich com 40 mm de isolamento em lã de rocha, o nível global de sustentabilidade, e os desempenhos em cada dimensão da construção sustentável são apresentados no quadro 25 abaixo:

Quadro 25 - Nível de desempenho do painel sandwich de cobertura com isolamento em lã de rocha (40mm)

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,49
Ambiental	0,552
Funcional	0,296
Econômica	0,516

5.2.4. PAINEL SANDWICH MDF/OSB COM ISOLAMENTO EM XPS 40 MM (SC)

Os painéis sandwich de madeira não são tão comuns quanto os em chapa metálica, sendo poucas as marcas que as fabriquem para o mercado português. Dessa forma, optou-se por utilizar as informações técnicas e preços dos painéis sandwich de madeira de uma marca que fabrica esses painéis e os vende em diversas lojas de construção. O custo dessa solução construtiva tomou como base a composição apresentada na base de dados da *Precio Centro Guadalajara*, indicada pela marca analisada. Dessa forma utilizou-se o custo do material e os rendimentos informados na tabela de preço em conjunto com o valor da mão de obra para a construção em Portugal de acordo com o Gerador de Preços da Cype.

Não foram encontradas declarações ambientais de produto ou avaliações do ciclo de vida para painéis sandwich em madeira, dessa forma os dados ambientais resultaram da soma dos valores informados nas EPDs de painel de madeira MDF, de painéis OSB e de isolamento XPS publicadas no programa da *Institut Bauen und Umwelt e.V* (IBU) da Alemanha.

Os valores normalizados encontrados para os indicadores analisados estão no quadro 26 abaixo:

Quadro 26 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de madeira MDF/OSB com isolamento XPS 40 mm

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	1,000	30	0,300
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	1,000	10	0,100
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,479	10	0,048
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,960	10	0,096
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,000	10	0,000
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	1,000	15	0,150
	ADPF - [MJ]	0,331	15	0,050
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,340	70	0,238
	PEPU – [adimensional]	1,000	30	0,300
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,416	100	0,416
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	1,000	50	0,500
	NHWD - kg/FU	1,000	20	0,200
	RWD - kg/FU	0,644	30	0,193
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,083	30	0,025
Peso	m – [kg/m ²]	0,083	100	0,083
Resistência Mecânica	CM - [kg/m ²]	0,432	100	0,432
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,821	100	0,821
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,694	30	0,208

O desempenho do painel sandwich em madeira MDF/OSB nas categorias analisadas foi calculado a partir dos valores normalizados dos indicadores, sendo apresentados no quadro 27. A partir desses valores obteve-se o perfil de sustentabilidade para a solução construtiva (figura 24).

Quadro 27 - Desempenho em cada categoria do painel sandwich MDF/OSB com isolamento XPS 40 mm

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,744	25	0,186
	Fonte de Recursos	0,538	40	0,215
	Eficiência do Uso de Água	0,416	15	0,062
	Geração de Resíduos	0,893	20	0,179
Funcional	Conforto Térmico	0,083	30	0,025
	Peso	0,432	30	0,130
	Resistência Mecânica	0,821	40	0,329
Econômica	Custo	0,496	100	0,496

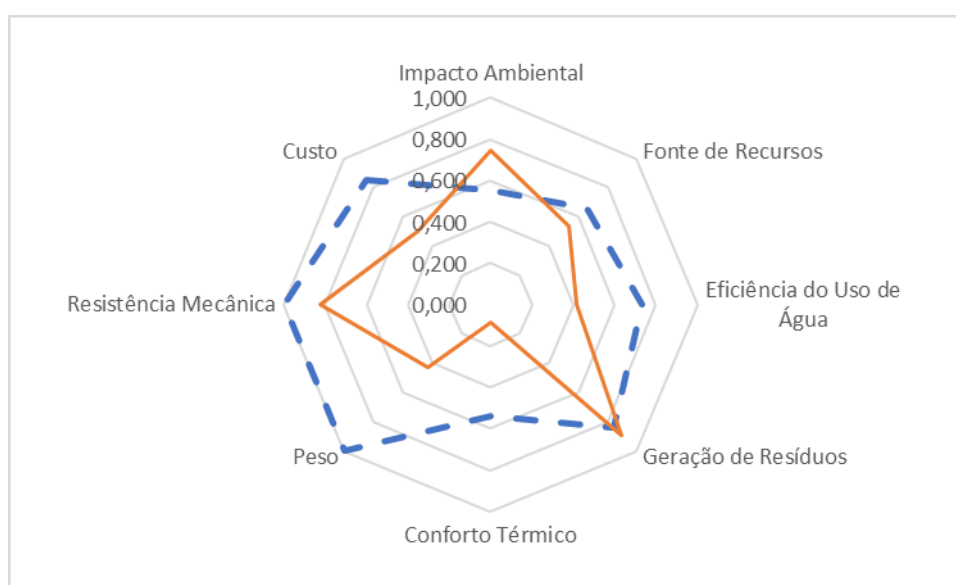


Fig. 24 - Perfil de sustentabilidade da solução em painel sandwich de madeira MDF/OSB (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)

Ao analisar os perfis de sustentabilidade, percebe-se que o painel sandwich em madeira com placas de MDF e de OSB em geral apresenta um desempenho pior que a solução projetada, superando esta na categoria de impacto ambiental e na de geração de resíduos, sendo que nesta última a diferença é mínima.

O nível global de sustentabilidade para essa solução construtiva é apresentado abaixo (quadro 28), juntamente com o desempenho desta nas três dimensões da construção sustentável.

Quadro 28 - Nível de desempenho do painel sandwich MDF/OSB com 40 mm de isolamento em XPS

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,57
Ambiental	0,642
Funcional	0,483
Econômica	0,496

5.2.5. PAINEL SANDWICH MDF/MDF COM ISOLAMENTO EM XPS 40 MM (SD)

Para essa solução construtiva, assim como na anterior, foram utilizados dados técnicos publicados pela mesma marca do painel de madeira da Solução Construtiva C. Para o cálculo do custo, repetiu-se o mesmo processo feito para o painel sandwich de madeira MDF/OSB, utilizando o valor unitário encontrado na mesma tabela de preços.

Para encontrar os valores para os indicadores ambientais foram utilizadas as declarações ambientais de produto de painel MDF e isolamento em XPS citadas anteriormente.

Com essas informações foi aplicada a metodologia apresentada no capítulo anterior de forma a obter os valores normalizados para os indicadores analisados (quadro 29).

Quadro 29 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de madeira MDF/MDF com isolamento XPS 40 mm

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,808	30	0,242
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,446	10	0,045
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,000	10	0,000
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,805	10	0,081
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,371	10	0,037
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,000	15	0,000
	ADPF - [MJ]	0,000	15	0,000
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,000	70	0,000
	PEPU – [adimensional]	0,820	30	0,246
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,000	100	0,000
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,991	50	0,496
	NHWD - kg/FU	0,880	20	0,176
	RWD - kg/FU	0,663	30	0,199
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,042	100	0,042
Peso	m – [kg/m ²]	0,403	100	0,403
Resistência Mecânica	CM - [kg/m ²]	0,464	100	0,464
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,684	70	0,479
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	1,000	30	0,300

O desempenho em cada categoria analisada para a solução em painel sandwich com placas de MDF é apresentado no quadro 5.30. Com eles foi feito também o perfil de sustentabilidade para esta solução construtiva estudada (figura 25)

Quadro 30 - Desempenho em cada categoria do painel sandwich MDF/MDF com isolamento XPS 40 mm

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,405	25	0,101
	Fonte de Recursos	0,246	40	0,098
	Eficiência do Uso de Água	0,000	15	0,000
	Geração de Resíduos	0,871	20	0,174
Funcional	Conforto Térmico	0,042	30	0,013
	Peso	0,403	30	0,121
	Resistência Mecânica	0,464	40	0,186
Econômica	Custo	0,779	100	0,779

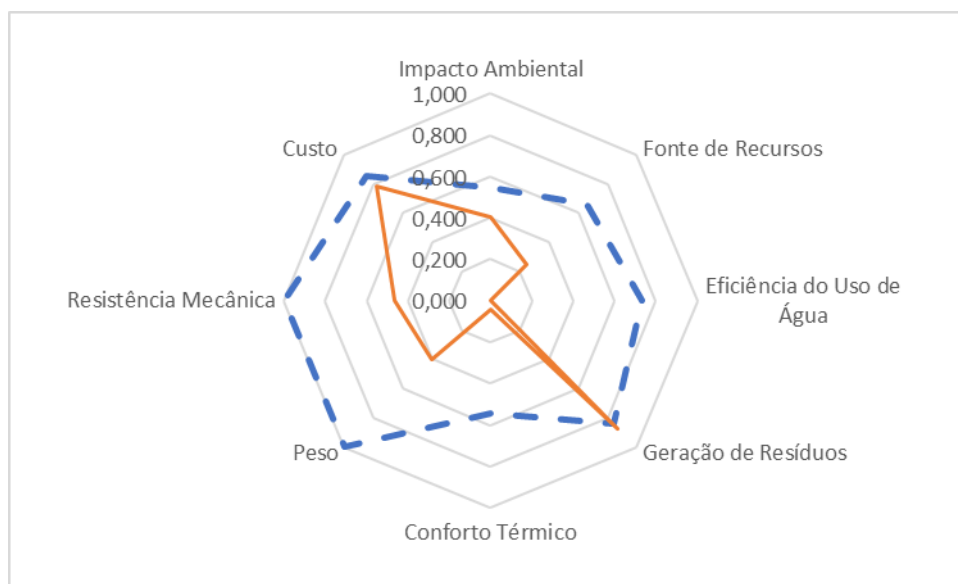


Fig. 25 - Perfil de sustentabilidade do painel sandwich MDF/MDF com isolamento XPS 40 mm (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado)

A solução em painel sandwich de madeira apresenta um desempenho inferior em todas as categorias quando comparado com a solução originalmente projetada em painel sandwich em chapas metálicas

com isolamento em poliuretano. É visível no gráfico que o desempenho da solução estudada é extremamente baixo na categoria de conforto térmico e no uso eficiente da água.

No quadro 31 são apresentados o desempenho ambiental, funcional e econômico da solução construtiva analisada, assim como seu nível global de sustentabilidade.

Quadro 31 - Nível de desempenho da solução em painel sandwich de madeira MDF/MDF com isolamento em XPS 40 mm

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,48
Ambiental	0,374
Funcional	0,319
Econômica	0,779

5.2.6. PAINEL SANDWICH MDF/CM COM ISOLAMENTO EM XPS 40 MM (SE)

Semelhante ao que ocorreu com os dois outros painéis sandwich de madeira apresentados, para a solução em painel sandwich com placas de MDF e cimento madeira e isolamento em XPS 40 mm foi utilizada a ficha técnica da mesma marca para obter as informações funcionais dessa solução construtiva. O procedimento para a definição do custo desse painel foi o mesmo utilizado nos outros painéis de madeira.

Além das EPDs de painel MDF e de isolamento em XPS já citadas, utilizou-se também a declaração ambiental de produto de painéis cimento madeira que teve a *Danish Technological Institute* como operador de programa.

No quadro 32 são apresentados os valores normalizados para cada indicador analisado para esta solução construtiva.

Quadro 32 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel sandwich de madeira MDF/CM com isolamento XPS 40 mm

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,447	30	0,134
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,996	10	0,100
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,285	10	0,029
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,925	10	0,093
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,382	10	0,038
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,667	15	0,100
	ADPF - [MJ]	0,226	15	0,034
	PENRT – [MJ]	0,198	70	0,139
Fonte de Recursos	PEPU – [adimensional]	0,802	30	0,241
	FW – [m ³]	0,328	100	0,328
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	1,000	50	0,500
	NHWD - kg/FU	0,934	20	0,187
	RWD - kg/FU	0,000	30	0,000
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,000	100	0,000
Peso	m – [kg/m ²]	0,000	100	0,000
Resistência Mecânica	CM - [kg/m ²]	0,821	100	0,821
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,000	70	0,000
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,230	30	0,069

Com os valores normalizados dos indicadores foi calculado o desempenho do painel sandwich MDF/Cimento madeira para as categorias analisadas nas soluções de cobertura (quadro 33), com as quais foi desenhado o perfil de sustentabilidade da solução (figura 26)

Quadro 33 - Desempenho em cada categoria do painel sandwich MDF/CM com isolamento XPS 40 mm

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,527	25	0,132
	Fonte de Recursos	0,380	40	0,152
	Eficiência do Uso de Água	0,328	15	0,049
	Geração de Resíduos	0,687	20	0,137
Funcional	Conforto Térmico	0,000	30	0,000
	Peso	0,000	30	0,000
	Resistência Mecânica	0,821	40	0,329
Econômica	Custo	0,069	100	0,069

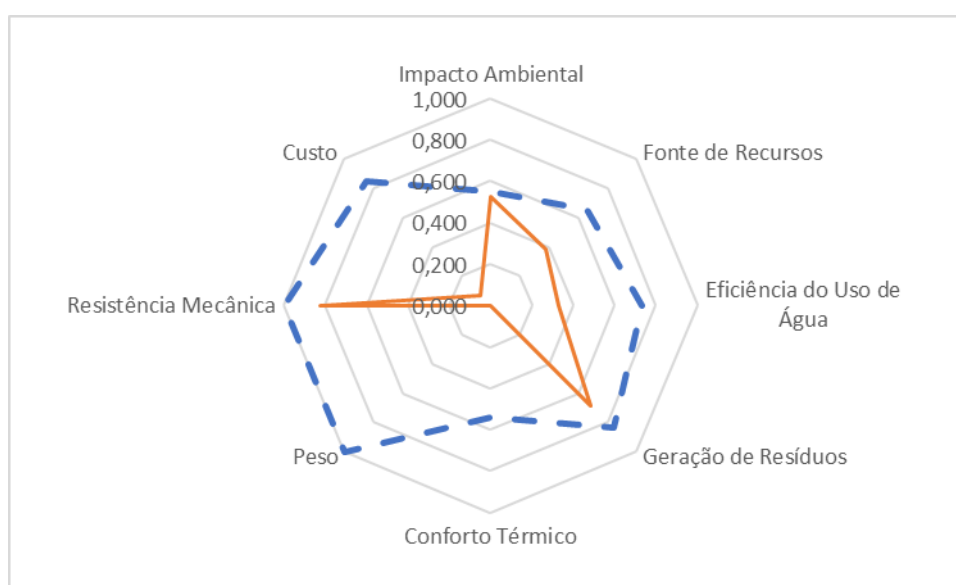


Fig. 26 - Perfil de sustentabilidade do painel sandwich MDF/CM com isolamento XPS 40 mm (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)

Como o perfil de sustentabilidade da solução estudada fica completamente inserido dentro do perfil de sustentabilidade da solução de projeto, percebe-se que a solução em painel sandwich de madeira apresenta pior desempenho em todas as categorias analisadas, principalmente no tocante a custo, conforto térmico e peso.

Com os valores de desempenho para cada categoria, obteve-se o desempenho da solução construtiva nas dimensões ambiental, funcional e econômica. A partir desses valores foi determinado o nível global de sustentabilidade para esta solução construtiva analisada (quadro 34).

Quadro 34 - Nível de desempenho da solução em painel sandwich de madeira MDF/CM com isolamento em XPS 40 mm

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,32
Ambiental	0,470
Funcional	0,329
Econômica	0,069

5.2.7. CLASSIFICAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ESTUDADAS PARA COBERTURA

Dentre todos os painéis sandwich analisados como solução construtiva para a cobertura do edifício balnear, aquele que obteve maior nível global de sustentabilidade foi o painel sandwich com chapas de aço galvanizado e isolamento em poliisocianurato (PIR), a solução de projeto apresentou resultados muito próximos, obtendo um nível global de sustentabilidade quase igual. A pequena diferença é devido ao painel com isolamento em PIR apresentar um melhor comportamento térmico que a solução de projeto que utiliza o poliuretano (PUR) como isolamento.

Dentre os painéis sandwich de madeira, aquele que apresentou melhor desempenho geral foi o painel sandwich com placas de MDF e OSB, em parte por ser o mais barato dos três analisados, com um preço próximo ao do painel sandwich com isolamento em lã de rocha. O mau desempenho ambiental dos painéis de madeira pode estar relacionado com o fato de não ter sido utilizado dados provenientes de uma única avaliação do ciclo de vida, mas sim dados combinados de avaliações do ciclo de vida dos materiais que compõe o painel. As classificações das soluções construtivas analisadas para a cobertura são apresentadas no quadro 35 a seguir:

Quadro 35 - Classificação das soluções construtivas para cobertura em relação ao nível global de sustentabilidade

Solução Construtiva	Nível Global de Sustentabilidade
Painel Sandwich (PIR) 40 mm - SA	0,78
Painel Sandwich (PUR) 40 mm - SP	0,77
Painel Sandwich MDF/OSB 40 mm XPS - SC	0,57
Painel Sandwich lã de rocha 40 mm – SB	0,49
Painel Sandwich MDF/MDF 40 mm XPS - SD	0,48
Painel Sandwich MDF/CM 40 mm XPS - SE	0,32

Analisando somente o resultado dos níveis globais de sustentabilidade poderia se concluir que a solução construtiva mais indicada a ser utilizada é a Solução Construtiva A (painel sandwich 40 mm em PIR), porém, como o resultado da solução de projeto foi muito próximo, é ainda mais importante considerar fatores não abordados na presente análise como características estéticas (cores disponíveis por exemplo), e tempo de entrega do material, devendo a presente análise ser ponderada na escolha do material, e não tomada como absoluta.

5.3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DE PAVIMENTO

A solução construtiva projetada para o pavimento do edifício balnear foi painel compósito cimento madeira com 19 mm de espessura os quais ficarão apoiados sobre as vigas de piso. No presente trabalho, foram avaliadas, para além da solução de projeto (SP), duas soluções construtivas que podem ser instaladas de maneira semelhante à solução de projeto, painéis em OSB e em MDF, considerando para elas a mesma espessura de 19 mm considerada para o painel compósito de cimento madeira. Foram também avaliados pavimentos em compósito plástico madeira (WPC), que necessitam de uma subestrutura em PVC a ser instalada sobre a estrutura existente. As soluções construtivas alternativas avaliadas para pavimentos são apresentadas abaixo:

- Solução Construtiva A (SA): painel MDF hidrófugo com 19 mm;
- Solução Construtiva B (SB): painel OSB para utilização em ambiente húmido com 19 mm;
- Solução Construtiva C (SC): deck compósito plástico madeira (WPC) maciço;
- Solução Construtiva D (SD): deck compósito plástico madeira (WPC) alveolar.

As cinco soluções construtivas foram avaliadas em 18 indicadores diferentes. Os dados de cada solução construtiva para esses indicadores são apresentados no quadro 36 abaixo, onde a melhor prática para cada indicador está em **negrito** e a pior prática **sombreada**.

Quadro 36 - Dados das soluções construtivas analisadas para pavimento

Indicador	SP	SA	SB	SC	SD
Ambientais					
GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	16,873	-3,515	-14,307	0,417	0,240
ODP - [kg CFC11-Eq.]	6,84E-09	9,82E-07	1,79E-12	1,57E-08	9,06E-09
AP - [kg SO ₂ -Eq.]	0,040	0,072	0,017	0,072	0,042
EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,006	0,012	0,004	0,009	0,005
POCP - [kg ethene-Eq.]	0,005	0,005	0,010	0,013	0,007
ADPE - [kg Sb-Eq.]	2,19E-05	6,22E-05	1,57E-06	2,30E-04	1,33E-04
ADPF - [MJ]	158,412	320,483	81,322	806,729	464,230
PENRT - [MJ]	184,470	323,154	83,603	880,816	506,863
PEPU - [adimensional]	40%	50%	75%	27%	27%
FW - [m ³]	0,078	0,321	0,013	147,516	84,888
HWD - kg/FU	2,92E-06	2,74E-04	3,84E-06	3,51E-04	2,02E-04
NHWD - kg/FU	0,640	1,140	0,019	0,586	0,337
RWD - kg/FU	1,02E-02	6,39E-04	9,18E-04	2,91E-02	1,68E-02
Funcionais					
U - [W/m ² .K]	3,374	3,145	2,808	3,226	2,372
m - [kg/m ²]	25,70	14,82	11,40	30,22	17,39
RF - [N/mm ²]	9,00	28,00	18,00	57,00	48,00
Econômicos					
Custo de execução (€/m ²)	€ 23,33	€ 30,13	€ 30,66	€ 110,33	€ 81,54
Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	€ 7,70	€ 9,94	€ 10,12	€ 27,58	€ 20,38

5.3.1. PAINEL COMPÓSITO CIMENTO MADEIRA 19 MM (SP)

Os dados ambientais do painel compósito cimento madeira foram os mesmos utilizados para o painel sandwich MDF/CM, enquanto os dados funcionais analisados foram encontrados na ficha técnica de uma marca com forte presença em Portugal. O custo do material assim como de sua manutenção foram baseados na composição de preço para “Soalho base de painel de madeira” disponível no Gerador de Preço do Cype, no qual foi substituído o preço do painel de madeira pelo preço do painel obtido em uma loja de materiais de construção.

Aplicando a metodologia apresentada no capítulo anterior para as informações disponíveis do painel cimento madeira se obteve os valores normalizados para cada indicador (quadro 37).

Quadro 37 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel cimento madeira 19 mm

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,000	30	0
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,993	10	0,099
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,594	10	0,059
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,769	10	0,077
	POCP - [kg ethene-Eq.]	1,000	10	0,100
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,911	15	0,137
	ADPF - [MJ]	0,894	15	0,134
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,873	70	0,611
	PEPU – [adimensional]	0,268	30	0,080
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	1,000	100	1,000
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	1,000	50	0,500
	NHWD - kg/FU	0,446	20	0,089
	RWD - kg/FU	0,666	30	0,200
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,000	100	0,000
Peso	m – [kg/m ²]	0,240	100	0,240

Resistência Mecânica	RF - [N/mm ²]	0,000	100	0,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	1,000	70	0,700
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	1,000	30	0,300

A partir dos valores normalizados apresentados, foi calculado o desempenho do painel CM 19 mm em relação a cada uma das 8 categorias analisadas, apresentado no quadro 38 abaixo, e feito o perfil de sustentabilidade dessa solução construtiva (figura 27), que servirá como base de comparação para os perfis de sustentabilidade das soluções alternativas estudadas para o pavimento.

Quadro 38 - Desempenho de sustentabilidade do painel CM 19 mm para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,606	25	0,152
	Fonte de Recursos	0,692	40	0,277
	Eficiência do Uso de Água	1,000	15	0,150
	Geração de Resíduos	0,789	20	0,158
Funcional	Conforto Térmico	0,000	20	0,000
	Peso	0,240	20	0,048
	Resistência Mecânica	0,000	60	0,000
Econômica	Custo	1,000	100	1,000

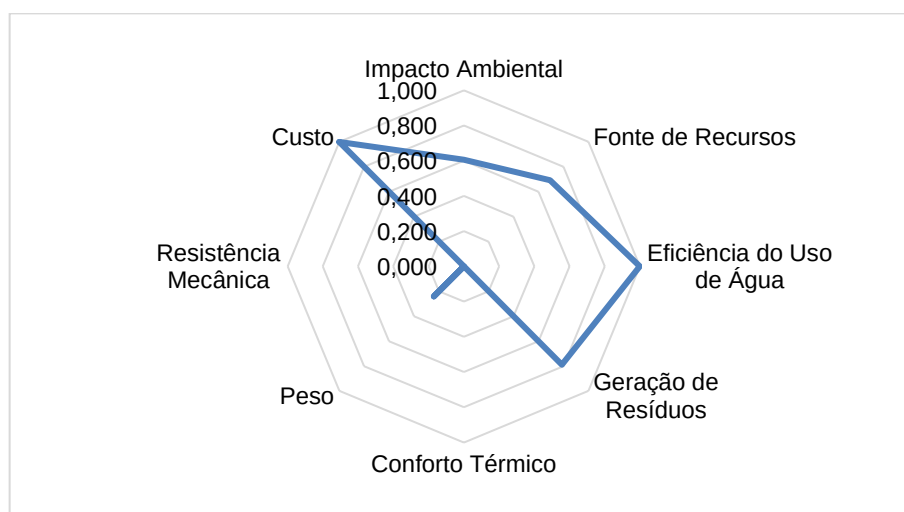


Fig. 27 - Perfil de sustentabilidade do painel cimento madeira 19 mm como solução para pavimento

Pelo perfil de sustentabilidade apresentado é possível perceber que a solução analisada apresenta um excelente desempenho nas categorias uso de água e preço, porém um desempenho ruim nas categorias conforto térmico, peso e resistência mecânica.

O nível de desempenho do painel CM 19 mm como pavimento para cada dimensão da construção sustentável é apresentado a seguir (quadro 39), assim como o nível de desempenho global desta solução construtiva.

Quadro 39 - Nível de desempenho painel CM 19 mm

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,68
Ambiental	0,736
Funcional	0,048
Econômica	1,000

5.3.2. PAINEL MDF HIDRÓFUGO 19 MM (SA)

Para a solução de pavimento em painéis de MDF foram utilizados dados de avaliação do ciclo de vida publicadas na mesma EPD do painel MDF já citada para os painéis sandwich de madeira. A partir da ficha técnica também publicada de um painel MDF hidrófugo de uma marca nacional foram obtidas as características funcionais do material. Utilizou-se a mesma composição de preço utilizada para o para o painel cimento madeira 19 mm, alterando o preço unitário do painel compósito madeira cimento para o custo unitário do MDF com 19 mm de espessura obtido em uma loja de materiais construção.

No quadro 40 são apresentados, para o painel MDF hidrófugo 19 mm, os valores normalizados para os indicadores utilizados na avaliação das soluções construtivas de pavimento:

Quadro 40 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel MDF hidrófugo 19 mm

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,654	30	0,196
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,000	10	0,000
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,006	10	0,001
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,000	10	0,000
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,985	10	0,098
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,735	15	0,110
	ADPF - [MJ]	0,670	15	0,101
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,700	70	0,490
	PEPU – [adimensional]	0,480	30	0,144
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,998	100	0,998
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,220	50	0,110
	NHWD - kg/FU	0,000	20	0,000
	RWD - kg/FU	1,000	30	0,300
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,229	100	0,229
Peso	m – [kg/m ²]	0,818	100	0,818
Resistência Mecânica	RF - [N/mm ²]	0,396	100	0,396
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,922	70	0,645
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,887	30	0,266

O desempenho da solução construtiva em relação a cada uma das 8 categorias analisadas pode ser observado no quadro 41 abaixo. Com esses valores foi o perfil de sustentabilidade dessa solução (figura 28), o qual foi sobreposto sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (SP).

Quadro 5.26 – Desempenho de sustentabilidade do painel MDF hidrófugo 19 mm para cada categoria analisada

Quadro 41 - Desempenho de sustentabilidade do painel MDF hidrófugo 19 mm para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,506	25	0,127
	Fonte de Recursos	0,634	40	0,253
	Eficiência do Uso de Água	0,998	15	0,150
	Geração de Resíduos	0,410	20	0,082
Funcional	Conforto Térmico	0,229	20	0,046
	Peso	0,818	20	0,164
	Resistência Mecânica	0,396	60	0,238
Econômica	Custo	0,911	100	0,911

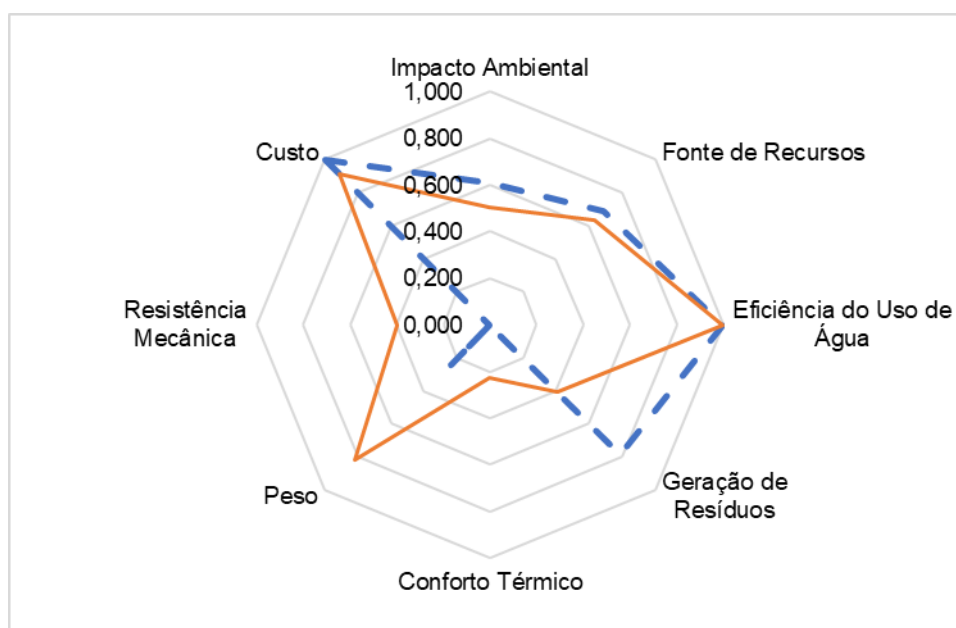


Fig. 28 - Perfil de sustentabilidade do painel MDF hidrófugo 19 mm (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado)

No perfil de sustentabilidade é possível observar que a solução estudada tem um desempenho semelhante à solução de projeto nas categorias eficiência do uso de água, fonte de recursos e custo. As diferenças mais visíveis no desempenho dos dois materiais são na categoria peso, na qual o painel de

MDF apresenta um desempenho superior, e na categoria geração de resíduos, na qual o painel de cimento madeira é melhor.

A partir dos valores de desempenho de cada categoria foi calculado o nível de desempenho global do painel MDF hidrófugo 19 mm como pavimento assim como o desempenho nas três dimensões da construção sustentável, apresentados no quadro 42 abaixo:

Quadro 42 - Nível de desempenho painel MDF hidrófugo 19 mm

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,67
Ambiental	0,612
Funcional	0,447
Econômica	0,911

5.3.3. PAINEL OSB 19 MM (SB)

O cálculo do desempenho do painel OSB 19 mm como solução alternativa para pavimento foi realizado utilizando os dados ambientais publicados na declaração ambiental de produto de painéis OSB que também foram utilizados para o painel sandwich de madeira MDF/OSB. As informações técnicas foram obtidas a partir das fichas técnicas dos painéis OSB de uma marca portuguesa. A composição de preço utilizada foi a mesma das duas soluções apresentadas anteriormente, e o preço do metro quadrado dos painéis OSB foi obtido em uma loja de materiais de construção.

Os valores normalizados do painel OSB 19 mm para os indicadores utilizados na avaliação das soluções construtivas de pavimento estão no quadro 43 a seguir:

Quadro 43 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de painel OSB 19 mm

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	1,000	30	0,300
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	1,000	10	0,100
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	1,000	10	0,100
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	1,000	10	0,100
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,363	10	0,036
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	1,000	15	0,150
	ADPF - [MJ]	1,000	15	0,150
	PENRT – [MJ]	1,000	70	0,700
Fonte de Recursos	PEPU – [adimensional]	1,000	30	0,300
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	1,000	100	1,000
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,997	50	0,499
	NHWD - kg/FU	1,000	20	0,200
	RWD - kg/FU	0,990	30	0,297
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,565	100	0,565
Peso	m – [kg/m ²]	1,000	100	1,000
Resistência Mecânica	RF - [N/mm ²]	0,188	100	0,188
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,916	70	0,641
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,878	30	0,263

O desempenho do painel OSB 19 mm para cada categoria é apresentado no quadro 44, e seu perfil de sustentabilidade pode ser visto na figura 29 a seguir, o qual foi sobreposto sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (SP).

Quadro 44 - Desempenho de sustentabilidade do painel OSB 19 mm para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,936	25	0,234
	Fonte de Recursos	1,000	40	0,400
	Eficiência do Uso de Água	1,000	15	0,150
	Geração de Resíduos	0,996	20	0,199
Funcional	Conforto Térmico	0,565	20	0,113
	Peso	1,000	20	0,200
	Resistência Mecânica	0,188	60	0,113
Econômica	Custo	0,904	100	0,904

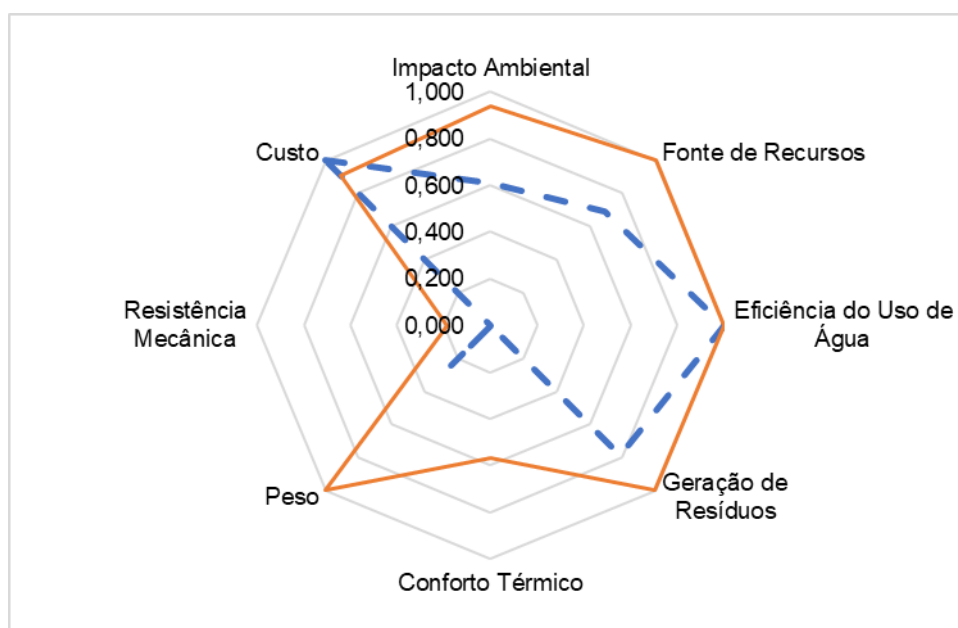


Fig. 29 - Perfil de sustentabilidade do painel OSB 19 mm (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado)

Através da sobreposição dos perfis se nota que a solução de painéis OSB 19 mm é superior à solução de projeto em todas as categorias exceto uso de água, que apresentam o mesmo desempenho, e custo, na qual a solução alternativa tem desempenho ligeiramente inferior à solução projetada.

O nível de desempenho global e o nível de desempenho nas três dimensões de sustentabilidade do painel OSB 19 mm como solução construtiva para o pavimento são apresentados no quadro 45 abaixo:

Quadro 45 - Nível de desempenho painel OSB 19 mm

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,85
Ambiental	0,983
Funcional	0,425
Econômica	0,904

5.3.4. DECK COMPÓSITO PLÁSTICO MADEIRA (WPC) MACIÇO (SC)

As informações ambientais para o deck WPC maciço foram obtidas na EPD dos painéis compósitos de plástico e madeira publicada pela IBU da Alemanha. Os dados técnicos foram obtidos através da ficha técnica e da declaração de desempenho de um deck compósito plástico madeira produzido em Portugal. O preço para essa solução foi baseado na composição de preço existente no Gerador de Preços da Cype, na qual o valor unitário do metro quadrado do deck compósito maciço foi substituído pelo preço desse material de uma marca portuguesa, obtido em uma loja online de materiais de construção.

Os valores normalizados para essa solução construtiva para os indicadores utilizados para pavimentos estão no quadro 46 a seguir:

Quadro 46 - Valores normalizados para cada indicador para a solução deck WPC maciço

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,528	30	0,158
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,984	10	0,098
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,000	10	0,000
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,366	10	0,037
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,000	10	0,000
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,000	15	0,000
	ADPF - [MJ]	0,000	15	0,000
	PENRT – [MJ]	0,000	70	0,000
Fonte de Recursos	PEPU – [adimensional]	0,000	30	0,000
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,000	100	0,000
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,000	50	0,000
	NHWD - kg/FU	0,494	20	0,099
	RWD - kg/FU	0,000	30	0,000
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,148	100	0,148
Peso	m – [kg/m ²]	0,000	100	0
Resistência Mecânica	RF - [N/mm ²]	1,000	100	1,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,000	70	0
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,000	30	0

Foi calculado, a partir dos valores normalizados dos indicadores, o desempenho para cada categoria (quadro 47), e com esses resultados obteve-se o perfil de sustentabilidade (figura 30) da solução construtiva analisada, o qual foi sobreposto sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (SP).

Quadro 47 - Desempenho de sustentabilidade do deck WPC maciço para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,293	25	0,073
	Fonte de Recursos	0,000	40	0,000
	Eficiência do Uso de Água	0,000	15	0,000
	Geração de Resíduos	0,099	20	0,020
Funcional	Conforto Térmico	0,148	20	0,006
	Peso	0,000	20	0,000
	Resistência Mecânica	1,000	60	0,360
Econômica	Custo	0,000	100	0,000

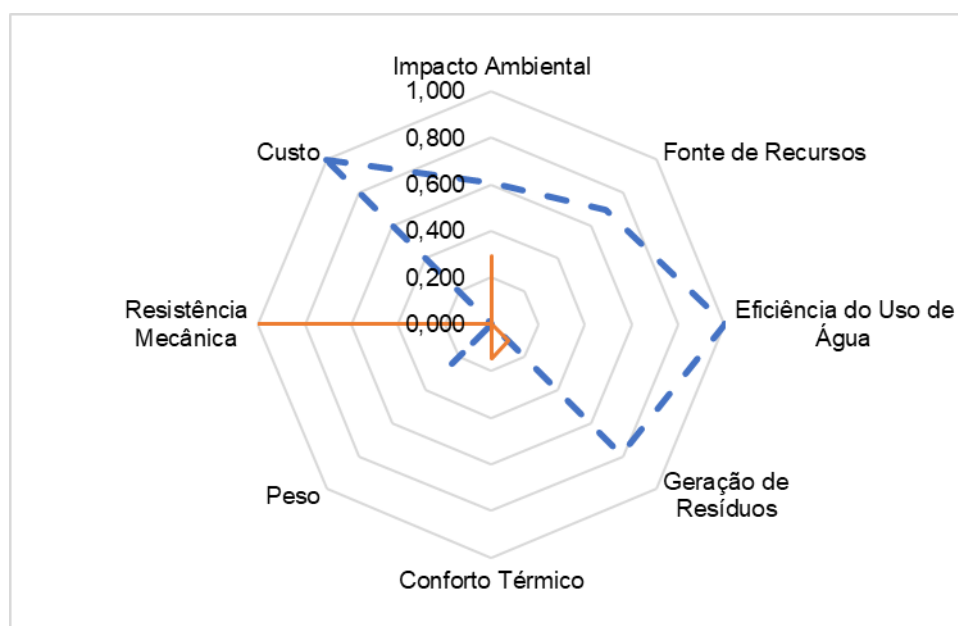


Fig. 30 - Perfil de sustentabilidade do deck WPC maciço (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado)

Ao observar os perfis de sustentabilidade é notável que em geral o desempenho da solução em deck de compósito plástico madeira é inferior ao desempenho da solução projetada. A solução alternativa só supera consideravelmente o desempenho do painel cimento madeira 19 mm nas categorias de resistência mecânica e na de conforto térmico.

O desempenho global do deck em compósito plástico madeira maciço é apresentado no quadro 48 abaixo, em conjunto com o desempenho em cada dimensão da construção sustentável:

Quadro 48 - Nível de desempenho do deck WPC maciço

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,17
Ambiental	0,093
Funcional	0,630
Econômica	0,000

5.3.5. DECK COMPÓSITO PLÁSTICO MADEIRA (WPC) ALVEOLAR (SD)

A origem das informações utilizadas na análise do desempenho ambiental do deck compósito plástico madeira alveolar foram as mesmas utilizadas para o deck compósito plástico madeira maciço (solução construtiva C), incluindo o preço unitário para o material, que também foi encontrado na mesma loja de produtos de construção.

Os valores normalizados dos indicadores são apresentados no quadro 49 a seguir:

Quadro 49 - Valores normalizados para cada indicador para a solução de deck WPC alveolar

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,533	30	0,160
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,991	10	0,099
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,560	10	0,056
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,865	10	0,086
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,670	10	0,067
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,427	15	0,064
	ADPF - [MJ]	0,472	15	0,071
	PENRT – [MJ]	0,469	70	0,328
Fonte de Recursos	PEPU – [adimensional]	0,00	30	0
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,425	100	0,425
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,428	50	0,214
	NHWD - kg/FU	0,716	20	0,143
	RWD - kg/FU	0,434	30	0,130
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	1,000	100	1,000
Peso	m – [kg/m ²]	0,682	100	0,682
Resistência Mecânica	RF - [N/mm ²]	0,813	100	0,813
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,331	70	0,232
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,362	30	0,109

Os resultados do desempenho para cada categoria foram calculados a partir dos valores apresentados acima, e são apresentados no quadro 50. A partir desses resultados, foi desenhado o perfil de sustentabilidade do deck WPC alveolar (figura 31), o qual foi sobreposto sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (SP).

Quadro 50 - Desempenho de sustentabilidade do deck WPC alveolar para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,604	25	0,151
	Fonte de Recursos	0,328	40	0,131
	Eficiência do Uso de Água	0,425	15	0,064
	Geração de Resíduos	0,487	20	0,097
Funcional	Conforto Térmico	1,000	20	0,200
	Peso	0,682	20	0,136
	Resistência Mecânica	0,813	60	0,488
Econômica	Custo	0,340	100	0,340

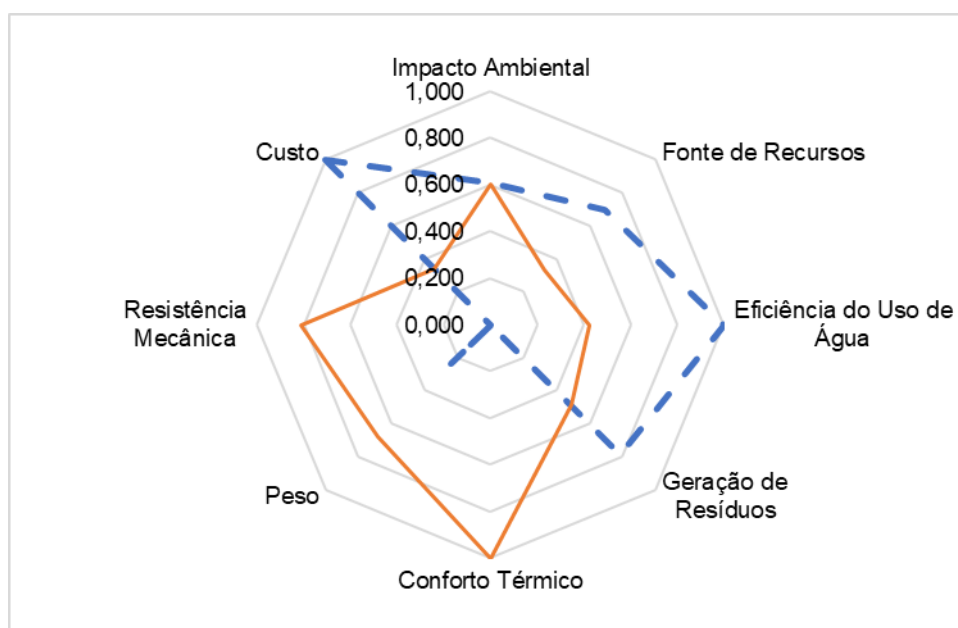


Fig. 31 - Perfil de sustentabilidade do deck WPC alveolar (em laranja) sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto (em azul tracejado)

Pelo perfil de sustentabilidade é se percebe que a solução em deck WPC alveolar não apresenta para nenhuma categoria o pior desempenho dentre as soluções analisadas, porém alcança o valor máximo na categoria de conforto térmico. É possível notar que em geral o desempenho desta solução é inferior ao desempenho da solução projetada, exceto em conforto térmico, peso e resistência mecânica.

O desempenho global do deck em compósito plástico madeira alveolar é apresentado no quadro 51 abaixo, em conjunto com o desempenho em cada dimensão da construção sustentável:

Quadro 51 - Nível de desempenho do deck WPC alveolar

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,49
Ambiental	0,443
Funcional	0,824
Econômica	0,340

5.3.6. CLASSIFICAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ESTUDADAS PARA PAVIMENTO

No presente trabalho foram analisadas cinco soluções construtivas para pavimento. Dentre elas duas são painéis de madeira (OSB e MDF) e três são compósitos de madeira e outro material (madeira cimento e madeira plástico). Os painéis compósitos madeira plástico apresentaram os melhores desempenhos na dimensão funcional, no entanto o pior desempenho nas outras dimensões, o que fez com que tivessem também os piores desempenhos globais (em todas as dimensões de sustentabilidade o deck WPC alveolar ficou mais bem colocado que o deck WPC maciço). O painel OSB apresentou o melhor desempenho ambiental, um bom desempenho econômico e um desempenho funcional bem superior à solução projetada, dessa forma é a solução analisada com maior nível global de sustentabilidade. A classificação das soluções construtivas em relação ao nível global de sustentabilidade é apresentada abaixo no quadro 52:

Quadro 52 - Classificação das soluções construtivas para pavimento em relação ao nível global de sustentabilidade

Solução Construtiva	Nível Global de Sustentabilidade
OSB 19 mm - SB	0,85
Painel Cimento Madeira 19 mm - SP	0,68
MDF Hidrófugo 19 mm - SA	0,67
WPC Alveolar – SD	0,49
WPC Maciço - SC	0,17

O alto nível global de sustentabilidade da solução em OSB 19 mm foi altamente influenciado pelo desempenho ambiental desta solução, uma vez que na presente análise essa é a dimensão de maior importância. A solução projetada, painel cimento madeira 19 mm, obteve o segundo maior nível global de sustentabilidade, sendo também a solução com melhor desempenho econômico. No entanto, foi a que apresentou pior desempenho funcional.

5.4. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DE FACHADA

No projeto do edifício balnear do ponto de apoio à prática náutica, foi considerado para a fachada painel sandwich de fachada com isolamento em poliuretano 50 mm (SP). Como solução construtiva alternativa foram avaliados mais dois tipos de painel sandwich de fachada, um com isolamento em PIR e o outro com isolamento em lã de rocha, ambos com 50 mm de espessura. Para além dessas soluções pré-fabricadas, no presente trabalho foram avaliadas quatro soluções compostas para a fachada, semelhantes entre si com a variação do painel interior e do isolamento. As soluções construtivas avaliadas como alternativa para a fachada do edifício estão listadas a seguir:

- Solução Construtiva A (SA): painel sandwich de fachada (PIR) 50 mm;
- Solução Construtiva B (SB): painel sandwich de fachada (lã de rocha) 50 mm;
- Solução Construtiva C (SC): solução composta painel cimento madeira (12 mm) + XPS (50 mm) + MDF hidrófugo (16 mm);
- Solução Construtiva D (SD): solução composta placa de cimento com fibra de vidro (12,5 mm) + XPS (50 mm) + MDF hidrófugo (16 mm);
- Solução Construtiva E (SE): solução composta painel cimento madeira (12 mm) + lã de rocha (50 mm) + MDF hidrófugo (16 mm);
- Solução Construtiva F (SF): solução composta placa de cimento com fibra de vidro (12,5 mm) + lã de rocha (50 mm) + MDF hidrófugo (16 mm).

As soluções construtivas para fachada foram avaliadas num total de 18 indicadores, para os quais os valores são apresentados no quadro 53. A melhor prática para cada indicador está em **negrito** e a pior prática **sombreada**.

Quadro 53 - Dados das soluções construtivas analisadas para revestimentos de fachada

Indicador	SP	SA	SB	SC	SD	SE	SF
Ambientais							
GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	21,069	21,069	23,712	14,135	8,360	9,315	3,540
ODP - [kg CFC11-Eq.]	1,627E-06	1,627E-06	2,169E-06	1,148E-06	1,144E-06	8,313E-07	8,270E-07
AP - [kg SO ₂ -Eq.]	0,085	0,085	0,126	0,129	0,112	0,095	0,078
EP - [kg (PO ₄) ³ -Eq.]	1,48E-02	1,48E-02	4,09E-02	1,59E-02	1,31E-02	1,59E-02	1,30E-02
POCP - [kg ethene-Eq.]	6,91E-03	6,91E-03	9,63E-03	1,21E-02	9,84E-03	7,60E-03	5,35E-03
ADPE - [kg Sb-Eq.]	9,87E-05	9,87E-05	1,04E-04	7,78E-05	6,48E-05	6,74E-05	5,44E-05
ADPF - [MJ]	273	273	245,000	538,848	473,13	394,098	328,38
PENRT - [MJ]	287,147	287,147	265,474	566,46	487,92	415,91	337,37
PEPU - [adimensional]	7%	7%	9%	39%	37%	46%	46%
FW - [m ³]	2,27E-01	2,27E-01	1,22E-01	3,34E+00	3,06E-01	3,32E+00	2,85E-01
HWD - kg/FU	1,06E-03	1,06E-03	1,63E-02	2,51E-04	2,64E-04	2,33E-04	2,46E-04
NHWD - kg/FU	4,58	4,58	6,110	1,390	1,051	1,561	1,223
RWD - kg/FU	7,51E-04	7,51E-04	9,70E-04	9,80E-03	4,64E-03	7,65E-03	2,49E-03
Funcionais							
U - [W/m ² .K]	0,440	0,440	0,690	0,447	0,451	0,573	0,580
m - [kg/m ²]	10,43	10,43	12,7	31,56	31,36	30,84	30,64
e - [mm]	51	51	51	78	78,5	78	78,5
Econômicos							
Custo de execução (€/m ²)	€ 43,16	€ 45,10	€ 50,43	€ 116,26	€ 145,23	€ 117,38	€ 146,35
Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	€ 3,45	€ 3,61	€ 4,03	€ 35,20	€ 35,35	€ 34,92	€ 35,06

5.4.2. PAINEL SANDWICH DE FACHADA (PUR) 50 MM (SP)

Assim como para os painéis sandwich metálicos de cobertura, foram utilizadas, para os painéis sandwich de fachada, as informações de características ambientais e técnicas publicadas por um fabricante de painéis sandwich. Os EPDs foram realizados dentro do programa *The International EPD System*, sendo agrupado no mesmo documento os dados ambientais para os painéis de cobertura e de fachada com isolamentos em poliuretano (PUR) ou em poliisocianurato (PIR). Os custos para essa solução construtiva foram calculados utilizando a composição de preços encontrada no Gerador de Preços da Cype, em combinação com o valor unitário do painel sandwich de fachada com isolamento em PUR publicado no *Precio Centro Guadalajara*.

Com essas informações foram determinados os valores normalizados para os indicadores analisados (quadro 54):

Quadro 54 - Valores normalizados para cada indicador para a solução projetada para a fachada

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,131	30	0,039
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,404	10	0,040
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,865	10	0,086
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,937	10	0,094
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,769	10	0,077
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,107	15	0,016
	ADPF - [MJ]	0,905	15	0,136
	PENRT – [MJ]	0,928	70	0,650
Fonte de Recursos	PEPU – [adimensional]	0,000	30	0,000
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,967	100	0,967
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,949	50	0,474
	NHWD - kg/FU	0,302	20	0,060
	RWD - kg/FU	1,000	30	0,300
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	1,000	100	1,000
Peso	m – [kg/m ²]	1,000	100	1,000
Espessura	e - [mm]	1,000	100	1,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	1,000	70	0,700
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	1,000	30	0,300

O desempenho da solução de projeto nas categorias analisadas é observado no quadro 5.55 a seguir. Com esses valores, obteve-se o perfil de sustentabilidade do painel sandwich de fachada com isolamento em poliuretano com 50 mm de espessura;

Quadro 55 - Desempenho de sustentabilidade painel sandwich de fachada (PUR) 50 mm para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,489	25	0,122
	Fonte de Recursos	0,650	40	0,260
	Eficiência do Uso de Água	0,967	15	0,145
	Geração de Resíduos	0,835	20	0,167
Funcional	Conforto Térmico	1,000	50	0,500
	Peso	1,000	30	0,300
	Área Útil ¹	1,000	20	0,200
Econômica	Custo	1,000	100	1,000

1 - A categoria “área útil” é composta pelo indicador espessura no presente trabalho pois se entende que uma maior espessura da solução construtiva de fachada implica em menor área útil para o edifício.

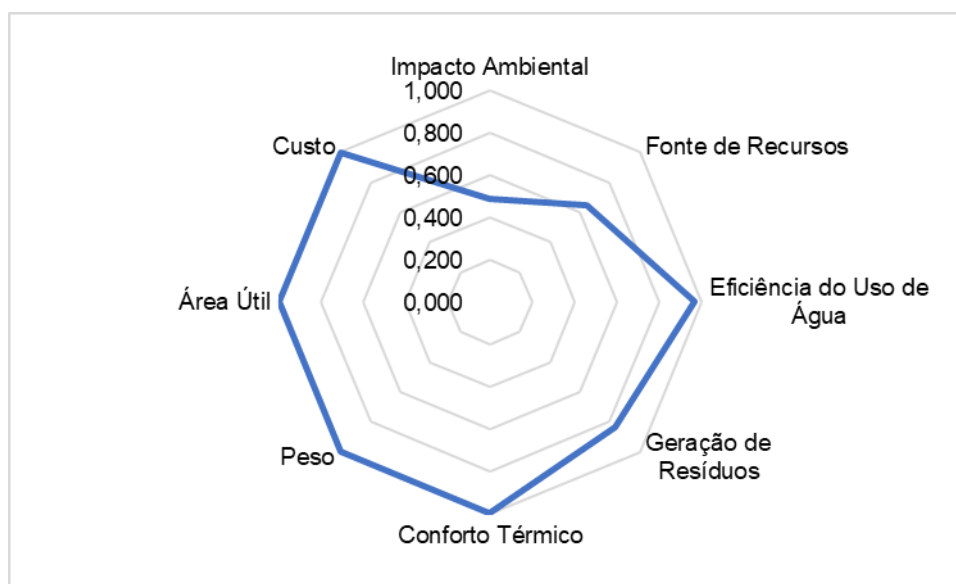


Fig. 32 - Perfil de sustentabilidade da solução de projeto para a fachada

No perfil de sustentabilidade da solução de projeto é possível observar que esta apresenta excelente desempenho em seis das oito categorias analisadas.

O desempenho global do painel sandwich de fachada com isolamento em PUR 50 mm é apresentado no quadro 56 abaixo, em conjunto com o desempenho em cada dimensão da construção sustentável:

Quadro 56 - Nível de desempenho do painel sandwich de fachada (PUR)

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,85
Ambiental	0,694
Funcional	1,000
Econômica	1,000

5.4.2. PAINEL SANDWICH DE FACHADA (PIR) 50 MM (SA)

O processo de obtenção das informações técnicas, ambientais e econômicas para o painel sandwich de fachada com isolamento em poliisocianurato (PIR) foi o mesmo apresentado para a obtenção dos dados utilizados na avaliação da solução construtiva projetada para a fachada.

Os indicadores analisados normalizados são apresentados no quadro 57.

Quadro 57 - Valores normalizados para cada indicador para painel sandwich de fachada 50 mm (PIR)

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,131	30	0,039
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,404	10	0,040
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,865	10	0,086
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,937	10	0,094
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,769	10	0,077
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,107	15	0,016
	ADPF - [MJ]	0,905	15	0,136
	PENRT – [MJ]	0,928	70	0,650
Fonte de Recursos	PEPU – [adimensional]	0,000	30	0,000
	FW – [m ³]	0,967	100	0,967
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,949	50	0,474
	NHWD - kg/FU	0,302	20	0,060
	RWD - kg/FU	1,000	30	0,300
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	1,000	100	1,000
Peso	m – [kg/m ²]	1,000	100	1,000
Espessura	e - [mm]	1,000	100	1,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,981	70	0,687
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,995	30	0,299

O desempenho da solução construtiva em cada categoria (quadro 58) foi calculado a partir dos valores normalizados dos indicadores, e o perfil de sustentabilidade (figura 33) foi obtido em sequência.

Quadro 58 - Desempenho de sustentabilidade painel sandwich de fachada (PIR) 50 mm para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,489	25	0,122
	Fonte de Recursos	0,650	40	0,260
	Eficiência do Uso de Água	0,967	15	0,145
	Geração de Resíduos	0,835	20	0,167
Funcional	Conforto Térmico	1,000	50	0,500
	Peso	1,000	30	0,300
	Área Útil	1,000	20	0,200
Econômica	Custo	0,985	100	0,985

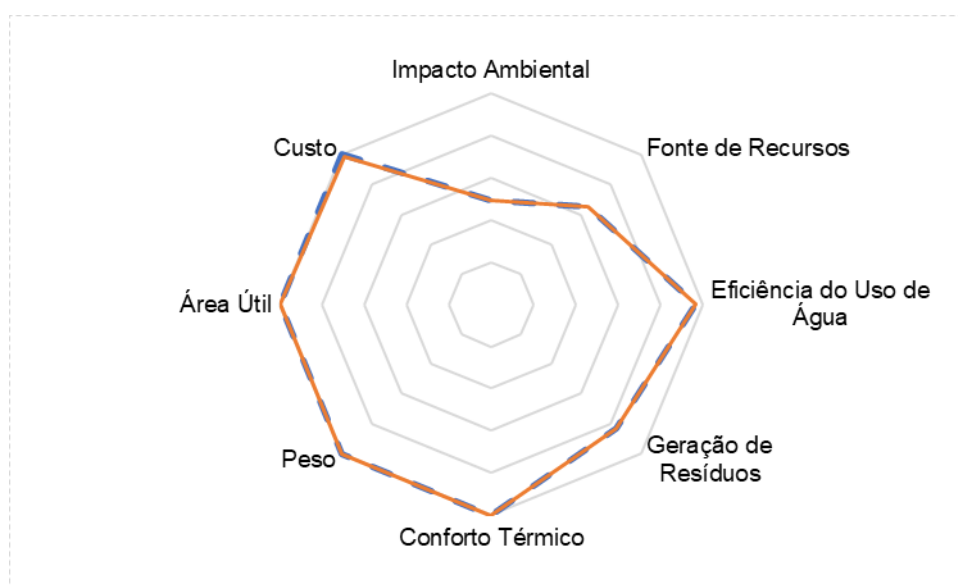


Fig. 33 - Perfil de sustentabilidade do painel sandwich de fachada com isolamento em PIR com 50 mm de espessura (laranja) sobre a solução construtiva projetada (em azul tracejado)

Com a sobreposição dos perfis é possível notar que as duas soluções têm desempenhos basicamente iguais, com pequenas diferenças no conforto térmico e no custo.

A partir do valor calculado para cada categoria, obteve-se os desempenhos da solução construtiva estudada para as três dimensões da construção sustentável, bem como o nível global de sustentabilidade (quadro 59).

Quadro 59 - Nível de desempenho do painel sandwich de fachada (PIR) com 50 mm de espessura

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,84
Ambiental	0,694
Funcional	1,000
Econômica	0,985

5.4.3. PAINEL SANDWICH DE FACHADA LÃ DE ROCHA 50 MM (SB)

A obtenção dos dados utilizados na avaliação do painel sandwich de fachada com isolamento em lã de rocha com 50 mm de espessura seguiu os mesmos passos apresentados para os outros dois painéis sandwich de fachada. A partir desses dados, obteve-se os valores normalizados para os indicadores analisados (quadro 60)

Quadro 60 - Valores normalizados para cada indicador para painel sandwich de fachada em lã de rocha (50 mm)

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,000	30	0,000
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,000	10	0,000
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,053	10	0,005
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,000	10	0,000
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,366	10	0,037
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,000	15	0,000
	ADPF - [MJ]	1,000	15	0,150
	PENRT – [MJ]	1,000	70	0,700
Fonte de Recursos	PEPU – [adimensional]	0,029	30	0,009
	FW – [m ³]	1,000	100	1,000
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,000	50	0,000
	NHWD - kg/FU	0,000	20	0,000
	RWD - kg/FU	0,976	30	0,293
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,000	100	0,000
Peso	m – [kg/m ²]	0,893	100	0,893
Espessura	e - [mm]	1,000	100	1,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,930	70	0,651
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,982	30	0,295

Em seguida, obteve-se o desempenho da solução construtiva estudada para as categorias analisadas (quadro 61) e o perfil de sustentabilidade (figura 34).

Quadro 61 - Desempenho de sustentabilidade painel sandwich de fachada (lã de rocha) 50 mm de espessura para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,192	25	0,048
	Fonte de Recursos	0,709	40	0,283
	Eficiência do Uso de Água	1,000	15	0,150
	Geração de Resíduos	0,293	20	0,059
Funcional	Conforto Térmico	0,000	50	0,000
	Peso	0,893	30	0,268
	Área Útil	1,000	20	0,200
Econômica	Custo	0,945	100	0,945

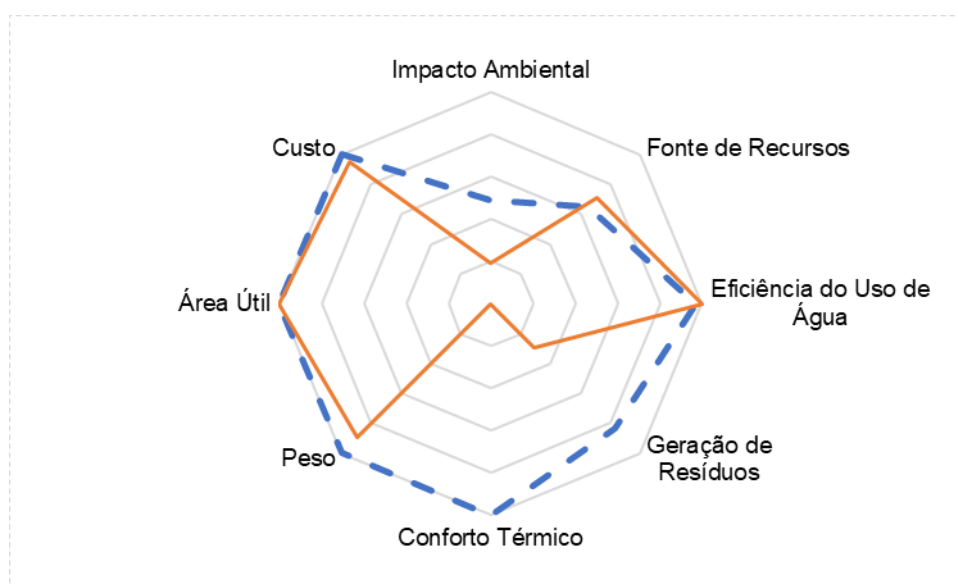


Fig. 34 - Perfil de sustentabilidade da solução construtiva painel sandwich de fachada com isolamento em lã de rocha (em laranja) sobre o perfil da solução de projeto (em azul tracejado)

A solução alternativa estudada apresenta comportamento semelhante à solução de projeto nas categorias de eficiência do uso de água, área útil e fonte de recursos. Porém, é possível ver na figura 5.14 que o perfil de sustentabilidade da solução de painel sandwich com isolamento em lã de rocha se encontra quase que completamente inserido no perfil de sustentabilidade da solução de projeto, o que representa que a solução de projeto é superior que à solução alternativa analisada.

O nível global de desempenho do painel sandwich de fachada com isolamento em lã de rocha é apresentado a seguir no quadro 62, juntamente com o desempenho deste para as dimensões ambiental, funcional e econômica.

Quadro 62 - Nível de desempenho do painel sandwich de fachada (lã de rocha) com 50 mm de espessura

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,75
Ambiental	0,540
Funcional	0,468
Econômica	0,945

5.4.4. SOLUÇÃO COMPOSTA PAINEL CIMENTO MADEIRA + XPS + PAINEL MDF HIDRÓFUGO (SC)

Inspirado nos painéis sandwich de madeira existente para as coberturas, foi pensando, como alternativas para a fachada, soluções compostas que combinassem revestimento exterior em painel de MDF hidrófugo (o mesmo utilizado para os painéis de cobertura), isolamento térmico em poliestireno extrudido ou em lã de rocha, e revestimento interior em painel cimento madeira ou em painel de cimento com malha de fibra de vidro

Para essas soluções compostas, foram calculados os coeficientes de transmissão térmica a partir da espessura e da condutibilidade térmica de cada material. Foram também somados os dados de EPDs existentes para cada componente da solução composta para obter os valores para os indicadores ambientais (assim como foi feito com os painéis sandwich de madeira), e o custo de execução de cada componente em obra, segundo o Gerador de Preços da Cyte, para obter o preço total com valor unitário dos materiais obtidos em lojas de materiais de construção.

Os indicadores normalizados para a solução composta de painel cimento madeira + XPS (50 mm) + painel MDF hidrófugo são apresentados no quadro 63 abaixo:

Quadro 63 - Valores normalizados para cada indicador para solução composta de painel cimento madeira + XPS (50 mm) + painel MDF hidrófugo

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,475	30	0,142
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,761	10	0,076
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,000	10	0,000
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,896	10	0,090
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,000	10	0,000
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,528	15	0,079
	ADPF - [MJ]	0,000	15	0,000
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,000	70	0,000
	PEPU – [adimensional]	0,805	30	0,242
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,000	100	0,000
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,999	50	0,499
	NHWD - kg/FU	0,933	20	0,187
	RWD - kg/FU	0,000	30	0,000
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,973	100	0,973
Peso	m – [kg/m ²]	0,000	100	0,000
Espessura	e - [mm]	0,018	100	0,018
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,930	70	0,651
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,982	30	0,295

Os valores do desempenho das categorias analisadas para a solução composta de painel CM, isolamento em XPS e painel interior em MDF hidrófugo foram calculados a partir dos valores normalizados apresentados acima, e podem ser vistos no quadro 60.

Quadro 64 - Desempenho de sustentabilidade da solução composta (CM + XPS + painel MDF) estudada para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,387	25	0,097
	Fonte de Recursos	0,242	40	0,097
	Eficiência do Uso de Água	0,000	15	0,000
	Geração de Resíduos	0,686	20	0,137
Funcional	Conforto Térmico	0,973	50	0,487
	Peso	0,000	30	0,000
	Área Útil	0,018	20	0,004
Econômica	Custo	0,205	100	0,205

Com os valores de desempenho em cada categoria, obteve-se o perfil de sustentabilidade da solução (figura 35), o qual foi sobreposto sobre o perfil de sustentabilidade da solução de projeto.

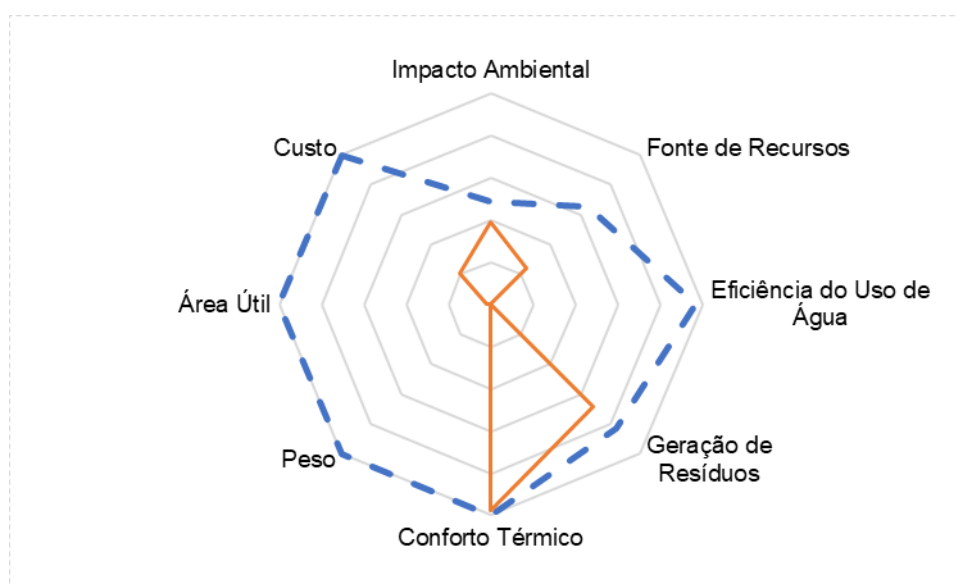


Fig. 35 - Perfil de sustentabilidade da solução composta painel CM + XPS + painel MDF (em laranja) sobre perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)

Como o perfil de sustentabilidade da solução estudada é menor em todos os vetores do que o perfil de sustentabilidade para a solução de projeto, percebe-se que a solução composta apresenta um desempenho inferior que o painel sandwich com isolamento em PUR em todas as categorias analisadas.

O nível global de sustentabilidade, e o desempenho nas três dimensões sociais são apresentados no quadro 65 a seguir para a solução composta para fachada estudada.

Quadro 65 - Nível de desempenho da solução composta painel CM + XPS + painel MDF

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,33
Ambiental	0,331
Funcional	0,490
Econômica	0,205

5.4.5. SOLUÇÃO COMPOSTA PAINEL CIMENTO COM MALHA DE FIBRA DE VIDRO + XPS + PAINEL MDF HIDRÓFUGO (SD)

A solução construtiva D é extremamente semelhante à apresentada anteriormente, diferindo somente no painel interior que ao invés de ser compósito cimento madeira, é em placa leve de cimento com malha de fibra de vidro em ambas as faces.

Os dados ambientais utilizados resultaram da combinação dos dados ambientais obtidos em declarações ambientais de produto para cada um dos materiais que compõe a solução composta. O mesmo ocorreu para chegar ao preço considerado na avaliação, somando o custo segundo o Gerador de Preço para a execução de cada um dos componentes da fachada composta.

Os indicadores normalizados para a solução composta de painel cimento com malha de fibra de vidro + XPS (50 mm) + painel MDF hidrófugo são apresentados no quadro 66 a seguir:

Quadro 66 - Valores normalizados para cada indicador para solução composta de painel cimento com malha de fibra de vidro + XPS (50 mm) + painel MDF hidrófugo

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,761	30	0,228
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,764	10	0,076
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,334	10	0,033
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,998	10	0,100
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,334	10	0,033
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,790	15	0,119
	ADPF - [MJ]	0,224	15	0,034
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,261	70	0,183
	PEPU – [adimensional]	0,760	30	0,228
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,943	100	0,943
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,998	50	0,499
	NHWD - kg/FU	1,000	20	0,200
	RWD - kg/FU	0,570	30	0,171
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,958	100	0,958
Peso	m – [kg/m ²]	0,009	100	0,009
Espessura	e - [mm]	0,000	100	0,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,011	70	0,008
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,000	30	0,000

A partir desses resultados foi calculado o desempenho da solução construtiva estudada para as oito categorias analisadas (quadro 5.67), e posteriormente foi gerado o perfil de sustentabilidade (figura 36)

Quadro 67 - Desempenho de sustentabilidade da solução composta painel cimento com malha de fibra de vidro + XPS + MDF para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,623	25	0,156
	Fonte de Recursos	0,411	40	0,164
	Eficiência do Uso de Água	0,943	15	0,141
	Geração de Resíduos	0,870	20	0,174
Funcional	Conforto Térmico	0,958	50	0,479
	Peso	0,009	30	0,003
	Área Útil	0,000	20	0,000
Econômica	Custo	0,008	100	0,008

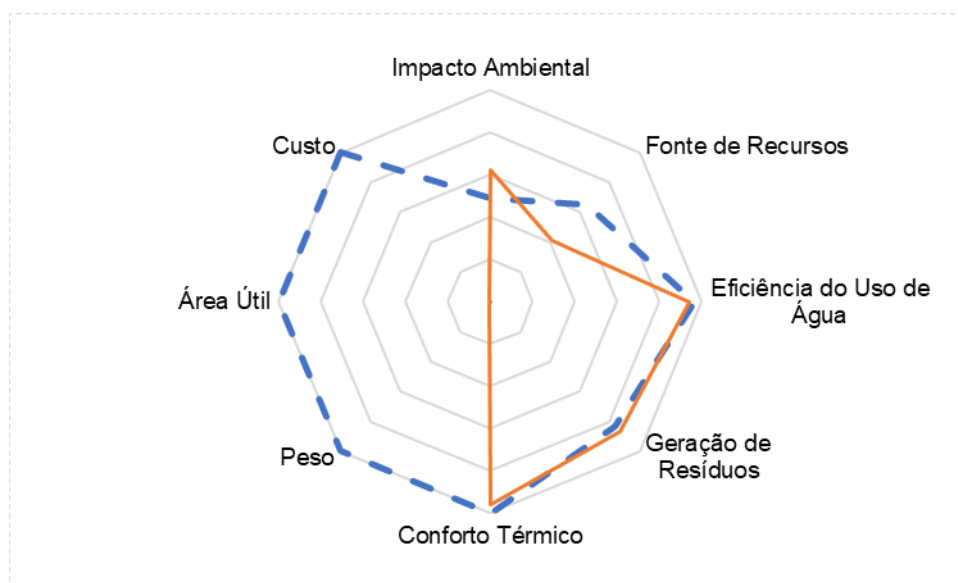


Fig. 36 - Perfil de sustentabilidade da solução composta painel cimento com fibra de vidro + XPS + painel MDF (em laranja) sobre perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)

Ao analisar o perfil de sustentabilidade, nota-se que as duas soluções apresentam comportamento semelhante nas categorias de eficiência do uso de água, geração de resíduos e conforto térmico, porém a solução de projeto é muito superior à solução de fachada composta nas categorias de peso, área útil e custo.

Para a fachada composta por painel de cimento com fibra de vidro, isolamento em XPS (50 mm) e painel de MDF hidrófugo, são apresentados no quadro 68 o nível global de sustentabilidade, bem como o desempenho nas três dimensões da construção sustentável.

Quadro 68 - Nível de desempenho da solução composta painel cimento com fibra de vidro + XPS + painel MDF

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,42
Ambiental	0,636
Funcional	0,482
Econômica	0,008

5.4.6. SOLUÇÃO COMPOSTA PAINEL CIMENTO MADEIRA + LÃ DE ROCHA + PAINEL MDF HIDRÓFUGO (SE)

Essa solução de fachada composta é uma variação da solução construtiva C já apresentada, utilizando o isolamento em lã de rocha com 50 mm de espessura ao invés do isolamento em poliestireno extrudido também com 50 mm. A obtenção das informações técnicas, ambientais e econômicas seguiram os mesmos processos das soluções anteriores.

Após aplicar a metodologia apresentada no capítulo 4 nas informações obtidas para a solução analisada, calculou-se os valores normalizados para os indicadores apresentados no quadro 69

Quadro 69 - Valores normalizados para cada indicador para solução composta de painel cimento madeira + lâ de rocha (50 mm) + painel MDF hidrófugo

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	0,714	30	0,214
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	0,997	10	0,100
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	0,666	10	0,067
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,898	10	0,090
	POCP - [kg ethene-Eq.]	0,666	10	0,067
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	0,737	15	0,111
	ADPF - [MJ]	0,493	15	0,074
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,500	70	0,350
	PEPU – [adimensional]	1,000	30	0,300
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,006	100	0,006
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	1,000	50	0,500
	NHWD - kg/FU	0,899	20	0,180
	RWD - kg/FU	0,238	30	0,071
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,466	100	0,466
Peso	m – [kg/m ²]	0,034	100	0,034
Espessura	e - [mm]	0,018	100	0,018
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,281	70	0,196
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,014	30	0,004

O desempenho da fachada composta estudada em cada categoria é apresentado no quadro 70 a seguir. Com esses valores foi gerado o perfil de sustentabilidade da solução construtiva (figura 37).

Quadro 70 - Desempenho de sustentabilidade da solução composta (painel CM + lâ de rocha + painel MDF) estudada para cada categoria analisada

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,721	25	0,180
	Fonte de Recursos	0,650	40	0,260
	Eficiência do Uso de Água	0,006	15	0,001
	Geração de Resíduos	0,751	20	0,150
Funcional	Conforto Térmico	0,466	50	0,233
	Peso	0,034	30	0,010
	Área Útil	0,018	20	0,004
Econômica	Custo	0,201	100	0,201

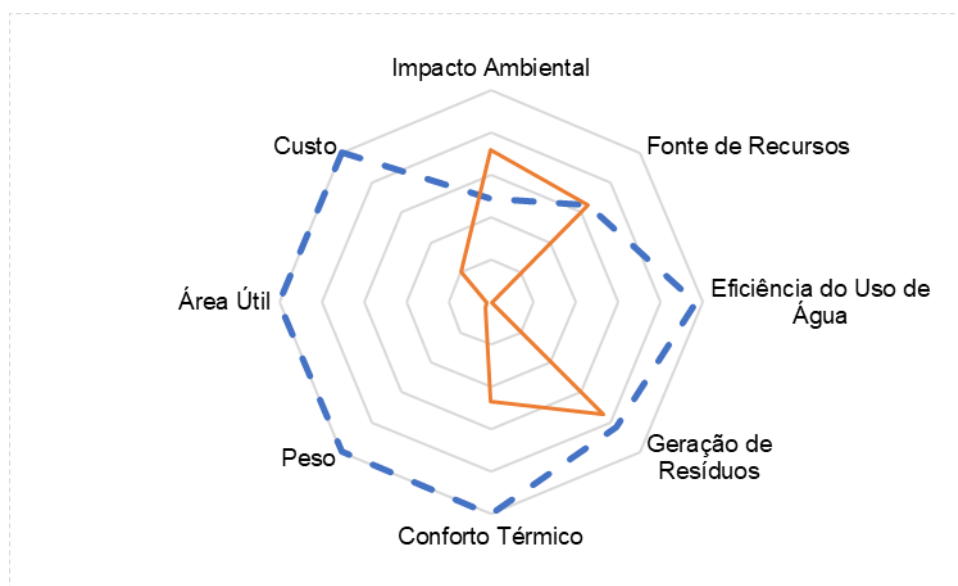


Fig. 37 - Perfil de sustentabilidade da solução composta painel CM + lâ de rocha + painel MDF (em laranja) sobre perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)

A solução de fachada composta analisada apresenta melhor desempenho que a solução de projeto no quesito impacto ambiental, e desempenho equivalente na categoria fonte de recursos, porém se comporta de maneira inferior nas categorias restantes.

O nível global de sustentabilidade, e o desempenho nas três dimensões sociais são apresentados no quadro 71 a seguir para a fachada composta pelo painel de cimento madeira, isolamento em lã de rocha e painel exterior em MDF hidrófugo.

Quadro 71 - Nível de desempenho da solução composta painel CM + lã de rocha + painel MDF

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,41
Ambiental	0,592
Funcional	0,247
Econômica	0,201

5.4.7. SOLUÇÃO COMPOSTA PAINEL CIMENTO COM MALHA DE FIBRA DE VIDRO + LÃ DE ROCHA + PAINEL MDF HIDRÓFUGO (SF)

A solução construtiva F é uma variação da solução construtiva D com a substituição do isolamento de XPS com 50 mm por isolamento em lã de rocha com a mesma espessura.

Os dados ambientais foram obtidos de EPDs dos materiais que compõe a solução construtiva e o custo foi o somatório dos serviços necessários a serem executados para a montagem de cada um dos materiais que fazem parte da fachada composta.

Os valores normalizados dos indicadores para a solução construtiva analisada são apresentados a seguir no quadro 72:

Quadro 72 - Valores normalizados para cada indicador para solução composta de painel cimento com malha de fibra de vidro + lâ de rocha (50 mm) + painel MDF hidrófugo

Categoria	Indicador	Valor Normalizado	Peso do Indicador (%)	Valor Ponderado
Impacto Ambiental	GWP - [kg CO ₂ -Eq.]	1,000	30	0,300
	ODP - [kg CFC11-Eq.]	1,000	10	0,100
	AP – [kg SO ₂ -Eq.]	1,000	10	0,100
	EP - [kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	1,000	10	0,100
	POCP - [kg ethene-Eq.]	1,000	10	0,100
	ADPE - [kg Sb-Eq.]	1,000	15	0,150
	ADPF - [MJ]	0,716	15	0,107
Fonte de Recursos	PENRT – [MJ]	0,761	70	0,533
	PEPU – [adimensional]	0,990	30	0,297
Eficiência do Uso de Água	FW – [m ³]	0,949	100	0,949
Geração de Resíduos	HWD - kg/FU	0,999	50	0,500
	NHWD - kg/FU	0,966	20	0,193
	RWD - kg/FU	0,808	30	0,242
Conforto Térmico	U - [W/m ² .K]	0,441	100	0,441
Peso	m – [kg/m ²]	0,044	100	0,044
Espessura	e - [mm]	0,000	100	0,000
Custo	Custo de Execução (€/m ²)	0,000	70	0,000
	Custo de Manutenção (€/m ² *10anos)	0,009	30	0,003

Com os valores normalizados dos indicadores foi calculado o desempenho da solução construtiva estudada nas categorias analisadas (quadro 73), e gerado o perfil de sustentabilidade para esta solução (figura 38)

Quadro 73 - Desempenho de sustentabilidade em cada categoria analisada para a fachada composta estudada (painel cimento com malha de fibra de vidro + lâ de rocha (50 mm) + painel MDF)

Dimensão	Categoria	Valor Calculado	Peso da Categoria (%)	Valor Ponderado
Ambiental	Impacto Ambiental	0,957	25	0,239
	Fonte de Recursos	0,830	40	0,332
	Eficiência do Uso de Água	0,949	15	0,142
	Geração de Resíduos	0,935	20	0,187
Funcional	Conforto Térmico	0,441	50	0,221
	Peso	0,044	30	0,013
	Área Útil	0,000	20	0,000
Econômica	Custo	0,003	100	0,003

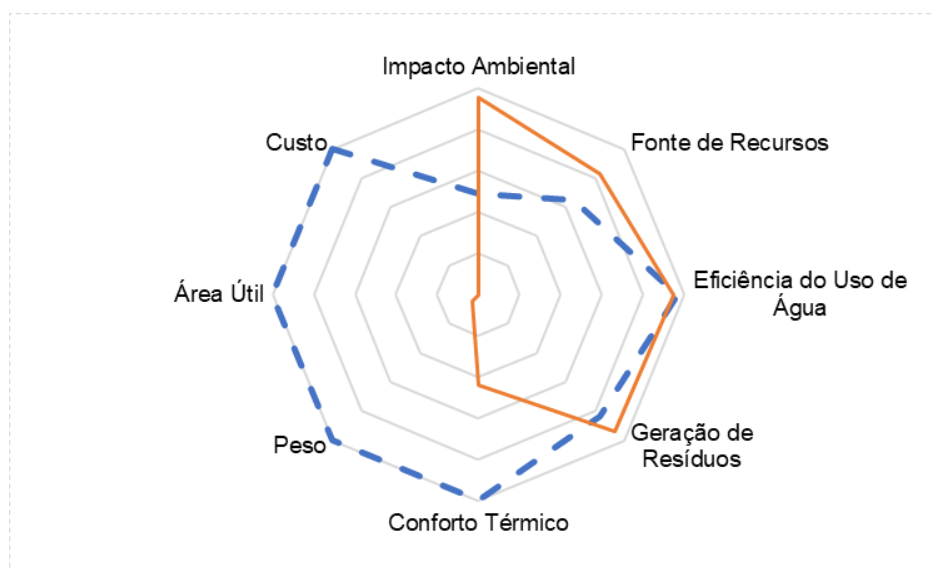


Fig. 38 - Perfil de sustentabilidade da solução composta painel cimento com fibra de vidro + lâ de rocha + painel MDF (em laranja) sobre perfil de sustentabilidade da solução projetada (em azul tracejado)

Pelo perfil de sustentabilidade da solução estudada é possível notar que esta apresenta bom desempenho nas categorias que fazem parte da dimensão ambiental, superando a solução de projeto em todas elas. Porém nas categorias das outras dimensões de sustentabilidade a solução de fachada composta não se comporta tão bem.

O desempenho desta solução construtiva em cada dimensão da construção sustentável é apresentado no quadro 74, juntamente com o nível global de sustentabilidade desta.

Quadro 74 - Nível de desempenho da solução composta de painel cimento com fibra de vidro, isolamento em lã de rocha com 50mm de espessura e painel MDF hidrófugo

Dimensão	Valor Calculado
Global	0,50
Ambiental	0,901
Funcional	0,234
Econômica	0,003

5.4.8. CLASSIFICAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ESTUDADAS PARA FACHADA

Dentre as soluções construtivas avaliadas para a fachada do edifício, aquela que apresentou maior nível global de sustentabilidade foi a solução de projeto, tendo a solução construtiva A (painel sandwich com isolamento em poliisocianurato) obtido uma nota quase igual à solução projetada. O bom desempenho das soluções em painel sandwich com isolamento em PUR e PIR foi devido às características funcionais e ao seu baixo custo em comparação com as outras soluções. A fachada composta de painel de cimento com malha de fibra de vidro, isolamento em lã de rocha e painel exterior em MDF hidrófugo obteve um desempenho a nível ambiental muito superior às outras soluções construtivas, porém devido ao seu alto custo e ao desempenho fraco nas categorias funcionais esta solução foi somente a quarta melhor, sendo superada pelos três painéis sandwich de fachada analisados. A classificação das soluções construtivas de fachada é apresentada a seguir no quadro 75:

Quadro 75 - Classificação das soluções construtivas para fachada em relação ao nível global de sustentabilidade

Solução Construtiva	Nível Global de Sustentabilidade
Painel Sandwich PUR - SP	0,85
Painel Sandwich PIR – SA	0,84
Painel Sandwich lã de rocha - SB	0,75
Painel cimento com malha de fibra de vidro + lã de rocha + MDF hidrófugo - SF	0,50
Painel cimento com malha de fibra de vidro + XPS + MDF hidrófugo – SD	0,42
Painel CM + lã de rocha + MDF hidrófugo - SE	0,41
Painel CM + XPS + MDF hidrófugo - SC	0,33

6

CONCLUSÃO

6.1 AVALIAÇÃO GLOBAL

As soluções construtivas definidas em projeto para o edifício balnear analisado no estudo de caso, foram originalmente definidas levando em consideração somente a facilidade de execução e o preço. Caso a utilização de ferramentas de avaliação de sustentabilidade fosse uma prática mais comum na indústria da construção civil, seria possível escolher métodos e soluções construtivas baseados em mais parâmetros, o que poderia implicar em escolhas melhores.

Ao aplicar a metodologia baseada nos métodos MARS-SC e SBTool^{PT} para avaliar as soluções construtivas para cobertura, fachada e pavimento do edifício balnear do caso de estudo, obteve-se o resultado que dentre as soluções projetadas, somente a de fachada teria sido escolhida caso a avaliação tivesse sido feita durante a fase de projeto. Entre as soluções estudadas para a cobertura, a solução inicialmente proposta, em painel sandwich com isolamento em poliuretano (PUR), teve um excelente desempenho, porém o painel sandwich com isolamento em poliisocianurato (PIR) apresentou comportamento idêntico em seis das oito categorias analisadas, sendo superior na categoria de conforto térmico, o que fez com que, mesmo sendo ligeiramente mais cara, a solução alternativa com isolamento em PIR obtivesse um maior nível global de sustentabilidade. A solução projetada para pavimento (painel de cimento madeira) também ficou em segundo lugar dentre as soluções construtivas analisadas, porém diferente do que ocorreu para as coberturas, esta apresentou desempenho inferior à solução alternativa em painel de OSB em todas as categorias com exceção da de Custo.

Quadro 76 - Melhores soluções construtivas dentre as avaliadas

Função	Solução Construtiva	Nível Global de Sustentabilidade
Cobertura	Painel sandwich 5 ondas 40 mm (PIR)	0,78
Pavimento	Painel OSB 19 mm	0,85
Fachada	Painel sandwich de fachada 50 mm (PUR)	0,85

Dessa forma, caso os resultados obtidos fossem utilizados pelos projetistas do edifício balnear, as soluções construtivas utilizadas para cobertura e pavimento possivelmente teriam sido diferentes das originalmente projetadas, e a escolha poderia ser melhor justificada para o dono da obra com os dados obtidos de nível global de sustentabilidade.

No entanto, se faz importante enfatizar que tais resultados não devem ser entendidos como critérios absolutos para a escolha dos materiais a serem utilizados na construção do edifício do caso de estudo,

mas sim como auxiliares nessa tomada de decisão, uma vez que outros fatores não abordados pela metodologia também devem ser levados em conta, nomeadamente as questões estéticas, a existência de mão de obra capacitada para a execução dos serviços necessários.

Além disso, se faz necessário compreender que os resultados obtidos refletem o peso determinado para cada categoria na avaliação realizada para o caso de estudo, pesos estes que foram baseados no estado da arte existente para avaliações de sustentabilidade de edifícios em Portugal. Não há, no entanto, impeditivos para alterar o peso dos indicadores e das categorias de acordo com necessidades mais específicas, de modo que mesmo no edifício analisado no caso de estudo, caso o dono da obra indicasse que deveria ser dada mais atenção a uma categoria, os resultados obtidos poderiam ser diferentes.

No presente trabalho foi dada a maior importância para a dimensão ambiental, devido ao contexto atual de ocorrência de eventos climáticos incomuns, e pelo fato do cliente ser um órgão público fazendo possível com que o edifício sirva como exemplo para outras construções no quesito ambiental. O fato das categorias ambientais representarem metade do valor do nível global de sustentabilidade das soluções construtivas, influenciou no baixo desempenho dos painéis sandwich de madeira para as coberturas. Como não foi possível encontrar declarações ambientais de produto para estes materiais, tendo sido combinado os valores dos componentes que fazem parte dos painéis para obter dados que pudessem ser utilizados na avaliação, caso esses valores não condigam com o que seria obtido com a avaliação do ciclo de vida de um painel de madeira, esse erro terá sido majorado devido à grande importância dada a dimensão ambiental na presente análise. Dessa forma, no caso da existência de EPDs para esses produtos a avaliação teria sido mais precisa.

Outro fator que poderia implicar em alterações nos resultados obtidos com a aplicação da metodologia utilizada é o preço das soluções construtivas, uma vez que esse indicador sofre influência de diversas variáveis, como oferta e procura pelos produtos, preço de matérias primas, variação cambial e impostos e taxas.

Houve também dificuldade na escolha de indicadores funcionais para serem analisados. Isso se deu pelo fato de não haver uma normalização das fichas técnicas dos produtos de diferentes empresas (ou mesmo de diferentes produtos de uma mesma empresa). Algumas informações que poderiam ter sido analisadas, como desempenho acústico ou permeabilidade ao vapor de água, eram presentes em algumas fichas técnicas, mas em outras não. Caso houvesse uma maior uniformidade nas informações a serem disponibilizadas nas fichas técnicas de cada material, seria possível realizar avaliações mais completas e com maior facilidade, incentivando a maior utilização de ferramentas de avaliação de sustentabilidade por diferentes partes da indústria da construção. Essas informações poderiam constar em documentos como as próprias EPDs, por exemplo, já que algumas empresas já incluem nelas informações como densidade ou coeficiente de transmissão térmica.

Como as declarações ambientais de produto são documentos produzidos de forma voluntária por fabricantes, essas empresas necessitam serem incentivadas a investir dinheiro para criar EPDs para seus produtos. Para isso, é necessário que consumidores cobrem esse tipo de documento dessas empresas, o que aconteceria com maior frequência caso o uso de metodologias de avaliação de sustentabilidade fosse mais difundido.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como citado acima, a uniformidade de fichas técnicas para produtos com a mesma função construtiva facilitaria na obtenção de resultados mais completos em avaliações de sustentabilidade de materiais. Dessa forma, se faz necessário determinar para soluções construtivas de diferentes funções, quais

informações são relevantes na análise de desempenho na dimensão funcional. Esse trabalho poderia ser realizado em parceria com fabricantes de materiais de construção civil para que percebesse o impacto que isso teria em seus custos e possíveis dificuldades na adesão destes à produção de documentos uniformizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. (2012). *Sistema de registo nacional de declarações ambientais de produto para o habitat*. Centro Habitat (http://www.centrohabitat.net/sites/default/files/eventos-pdf/apresentacao_dap_habitat.pdf). Data de Acesso: 22/05/2021.
- BBC News Brasil (2021). *Enchentes na Alemanha: brasileiros formam rede de apoio para ajudar compatriotas afetados*. BBC (<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-57875945>). Data de Acesso: 29/07/2021.
- Bovea et al. (2014). Environmental product declaration (EPD) labelling of construction and building materials. In *Eco-efficient construction and building materials*, páginas 125-150, Cabeza, F., Magalhães, J., Philadelphia.
- Bragança, L., Mateus, R. (2011). *Avaliação do ciclo de vida dos edifícios: impacte ambiental de soluções construtivas*. Edição dos Autores, Portugal.
- Bragança, L. (2017). *Sbtool Urban: instrumento para a promoção da sustentabilidade urbana*. I Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana (Universidade Federal de São Carlos), Outubro 2017, São Carlos.
- Bribián et al. (2010). *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*. Building & Environment 46 (2011), 09/12/2012, páginas 1133-1140.
- Cabeza et al. (2013). *Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29 (2014), 21/09/2013, páginas 394-416.
- Cembrit (2016). *Environmental product declaration (EPD)*. EPD Danmark, Aalborg.
- DAPHabitat (2021). *O que são declarações ambientais de produto?*. (https://daphabitat.pt/pt_PT/dap/o-que-sao/). Data de Acesso: 15/05/2021.
- EPD International (2021). *EPD creation explained in 5 simple steps*. (<https://environdec.com/all-about-epds/create-your-epd>). Data de Acesso: 15/05/2021.
- FMI Fachverband Mineralwolleindustrie e.V. (2018). *Environmental product declaration (EPD) mineral wool insulation (low bulk density range)*. IBU – Institut Bauen und Umwelt e.V. Berlim.
- Fritz EGGER GmbH & Co. OG Holzwerkstoffe (2018). *Environmental product declaration (EPD) EGGER OSB-boards*. IBU – Institut Bauen und Umwelt e.V St. Johann no Tirol.
- IHT - Innovative Home Technology, LDA (2019). *Ficha técnica Cdeck Composite Decking*. Soure.
- Investwood (2020). *Ficha técnica painel Viroc*. Setúbal.
- Knauf Aquapanel GmbH & Co. KG (2019). *Environmental product declaration (EPD) Aquapanel cement board outdoor*. IBU – Institut Bauen und Umwelt e.V., Dortmund.
- Knauf (2020). *Ficha técnica K917.pt Placa de cimento Knauf Aquapanel Outdoor*. Frielas.
- Mateus, R. (2004). *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.

Mateus, R. (2009). *Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.

Mateus, R., Bragança, L. (2011). *Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the Methodology SBTool^{PT}-H*. Building & Environment 46 (2011), 05/04/2011, páginas 1962-1971.

Onduline (2020). *Ficha Técnica panel sándwich Ondutherm – CM10 – cemento madera 10*. Gallarta.

Onduline (2020). *Ficha Técnica panel sándwich Ondutherm – H10 – aglomerado hidrófugo*. Gallarta.

Onduline (2020). *Ficha Técnica panel sándwich Ondutherm – OSB10 – tablero de virutas orientadas 10*. Gallarta.

Real, L., Machado, J. (2014). *Avaliação da aptidão ao uso de kits para revestimentos de piso exteriores em compósitos de madeira-plástico (CMP)*. 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas (LNEC), Novembro 2014, Lisboa.

Saint-Gobain (2019). *Environmental product declaration (EPD) ACH Sandwich Panel with mineral wool core*. The International EPD System, Guadalajara.

Saint-Gobain Transformados SAU (2019). *Environmental product declaration (EPD) ACH Sandwich Panel with PUR-PIR core*. The International EPD System, Guadalajara.

Saint-Gobain (2020). *Ficha Técnica painel de cobertura com 5 ondas ACH núcleo lã de rocha de baixa densidade (tipo L)*. Guadalajara.

Saint-Gobain (2020). *Ficha Técnica painel de cobertura com 5 ondas ACH PIR B s1 d0*. Guadalajara.

Saint-Gobain (2020). *Ficha Técnica painel de cobertura com 5 ondas ACH PUR*. Guadalajara.

Saint-Gobain (2020). *Ficha Técnica painel de fachada ACH núcleo lã de rocha de baixa densidade (tipo L)*. Guadalajara.

Saint-Gobain (2020). *Ficha Técnica painel de fachada ACH PIR B s1 d0*. Guadalajara.

Saint-Gobain (2020). *Ficha Técnica painel de fachada ACH PUR*. Guadalajara.

Sonae Arauco, S.A. (2016). *Environmental product declaration (EPD) Medium density fibreboard (MDF), coated with melamine impregnated paper*. IBU – Institut Bauen und Umwelt e.V. Madrid.

Sonae Arauco, S.A. (2020). *Ficha técnica OSB 3 Ecoboard*. Maia.

Sonae Arauco, S.A. (2020). *Ficha técnica Sonaepan MR*. Maia.

Sustainable Development Goals Knowledge Platform (<https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/humanenvironment>). Data de acesso: 29/07/2021.

Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (2015). *Environmental product declaration (EPD) WPC decking profiles*. IBU – Institut Bauen und Umwelt e.V. Gießen.