

ANÁLISE MULTICRITÉRIO DO DESEMPENHO DE PAREDES EXTERIORES LEVES EM MADEIRA
SPORT ALENQUER E BENFICA

MARIANA RIBEIRO NUNES
OUTUBRO 2017

MARIANA RIBEIRO NUNES

VERTENTE TEÓRICA:

Análise Multicritério do Desempenho de Paredes Exteriores Leves em Madeira

ORIENTADOR:

Professor Doutor, Vasco Moreira Rato, Professor Auxiliar, ISCTE-IUL

VERTENTE PROJETUAL:

Sport Alenquer e Benfica

TUTOR:

Professor Doutor, Pedro Pinto, Professor Auxiliar, ISCTE-IUL

Trabalho de projeto submetido como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Arquitetura



Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Mestrado Integrado em Arquitetura

Outubro 2017

Agradecimentos

Dirijo-me em primeiro lugar, como forma de gratidão, aos meus pais e irmão pelo apoio incondicional durante estes cinco anos de curso.

Agradeço a todo o corpo docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo do ISCTE-IUL e com quem tive a oportunidade de aprender. Agradeço em particular ao professor Vasco Moreira Rato pela disponibilidade, entusiasmo, pelo conhecimento transmitido e pelas palavras de incentivo ao longo deste ano. Agradeço igualmente ao professor Pedro Pinto, pelo apoio prestado durante o desenvolvimento do trabalho e por todos os conhecimentos transmitidos.

Aos colegas com quem me cruzei neste percurso, desde os dois primeiros anos passados na Universidade dos Açores até agora.

Um agradecimento aos amigos que sempre estiverem presentes, pela ajuda, por todos os sorrisos e brincadeiras nas horas mais difíceis. Em especial, às amigas/o e companheiras/o de grupo, Aline Gonçalves, Jéssica Morgado e Pedro Canêlhas pelo apoio, incentivo, ajuda, companheirismo mas acima de tudo, amizade.

ÍNDICE GERAL

Vertente Teórica

- | | |
|----|-------------------------------|
| 17 | I. Introdução |
| 21 | II. Estado da Arte |
| 43 | III. Metodologia de Trabalho |
| 93 | IV. Considerações Finais |
| 95 | V. Referências Bibliográficas |
| 98 | VI. Anexos |

Vertente Prática

- | | |
|-----|---------------------------|
| 102 | VII. Proposta de Grupo |
| 111 | VIII. Proposta Individual |

Trabalho vertente teórica:

**Análise Multicritério do Desempenho de Paredes Exteriores Leves
em Madeira**

ISCTE -IUL
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO INTEGRADO EM ARQUITETURA

MARIANA RIBEIRO NUNES

OUTUBRO 2017

Resumo

No setor da construção, há uma crescente preocupação com o conforto térmico e bem-estar dos utilizadores dos edifícios, quer em larga escala ou de pequena escala, como habitações. Para se alcançar o conforto e desempenho energético mais adequado, há uma forte dependência pelas soluções construtivas adotadas e, consequentemente, dos materiais utilizados para tal. Por outro lado, o impacte ambiental associado aos materiais de construção e a todos os processos que lhes são inerentes, no seu ciclo de vida, tem vindo a merecer atenção crescente e constitui, hoje, uma questão determinante no balanço energético global dos edifícios.

Assim sendo, as questões funcionais e ambientais serão duas preocupações postas lado a lado neste estudo e, serão ponderadas em várias análises efetuadas a um conjunto de 144 soluções construtivas para paredes leves exteriores em madeira, utilizando uma metodologia de análise comparativa. Esta metodologia recorre a uma ferramenta de apoio à decisão M-Macbeth, de forma que, seja possível concluir quais as soluções construtivas que melhor respondem às exigências energéticas de um projeto, em consequência de cenários de projeto reais, ou seja, em função de um tipo de clima específico e também em função das questões ambientais, , com diferentes níveis de ponderação na seleção final.

Com este trabalho, pretende-se contribuir para a construção de uma base de dados que facilite o processo de escolha das soluções construtivas que obtenham o melhor desempenho em relação a estes critérios acima mencionados.

A análise multicritério do comportamento das paredes leves exteriores em madeira, permitiu chegar à conclusão de que , em paredes leves de madeira, o critério de redução do impacte ambiental não compromete o cumprimento de requisitos funcionais.

Palavras chave: Impacto ambiental; análise multicritério; Macbeth; desempenho térmico; desempenho ambiental; paredes exteriores leves.

Abstract

In the construction sector, there is a growing concern with the thermal comfort and well-being of the users of the buildings, such as in large scale or as in small scale, such as housing. In order to reach the comfort and most adequate energetic performance, there is a strong dependence for the adopted constructive solutions and, consequently, of the materials used for such purpose. On the other hand, the environmental impact with the construction material and all the processes associated with it, in its life cycle, has received increasing attention and is now a determining issue in the overall energy balance of buildings.

With this being said, the functional and environmental issues are two concerns set side by side in this study and will be pondered in various tests done in a group of 144 constructive solutions for exterior light weight walls in wood, using a methodology of comparative analysis. This methodology uses a tool of aid to decision M-Macbeth, in order of, being possible to conclude what constructive solutions better respond to the energetic requirements of a project, in consequence of scenarios of real projects, or, in function of a type of specific climate or environmental issues with different levels of weighting in the final selection

With this work, it is intended to contribute towards a construction of a database that will facilitate the selection process of constructive solutions that will obtain a better performance in regards to the criteria above-mentioned, in this case, considering the level of importance attributed to the same.

The multicriteria analysis of the behavior of exterior light weight walls in wood allowed the conclusion that it is possible in light wood walls, the criterion of reduction of environmental impact does not compromise the fulfillment of functional requirements.

Keywords: Environmental impact; multicriteria analysis; Macbeth; thermal performance; environmental performance; exterior light weight walls.

Índice

14	Índice de figuras	77	3.2.2 Discussão de resultados
15	Índice de tabelas	80	3.3 Análise multicritério de soluções construtivas com cenários de projeto relacionados com o clima
16	Glossário de siglas	80	3.3.1 Cenários de projeto
17	I. Introdução	82	3.3.2 Tradução dos cenários de projeto no modelo M-Macbeth
18	Enquadramento	85	3.3.3 Apresentação dos resultados
19	Objetivos	86	3.3.3.1 Cenários 1.1 e 2.1
20	Estrutura da Dissertação	88	3.3.3.2 Cenários 1.2 e 2.2
21	II. Estado da Arte	90	3.3.3.3 Cenário 2.3
22	2.1 Problema da seleção de soluções construtivas	92	3.4 Discussão dos resultados
26	2.1.1 Ciclo de vida dos materiais e o seu impacto ambiental	93	IV. Considerações Finais
28	2.2 Paredes leves exteriores em madeira	95	V. Referências Bibliográficas
32	2.3 Modelos de análise multicritério	98	VI. Anexos
32	2.3.1 Evolução da sua utilidade		
34	2.3.2 Modelo de análise multicritério de apoio à decisão		
38	2.3.3 Modelo de análise M-Macbeth		
40	2.3.4 Aplicação do Modelo de Análise Multicritério em vários contextos		
43	III. Metodologia de Trabalho		
44	3.1 Soluções construtivas analisadas		
47	3.1.1 Critérios de desempenho		
49	3.1.2 Processos de cálculo		
52	3.2 Análise multicritério de soluções construtivas		
54	3.2.1 Resultados preliminares		

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema-base das soluções construtivas analisadas.

Figura 2: Esquema-base das soluções construtivas analisadas.

Figura 3 e 4: Matriz de julgamento dos critérios e escala de ponderação (33,3%).

Figura 5 e 6: Matriz de julgamento dos critérios e escala de ponderação (EC 75%).

Figura 7: Gráfico de análise de sensibilidade relativo ao critério EC (75%).

Figura 8 e 9: Escala de ponderação dos critérios de desempenho e gráfico de análise de sensibilidade relativo ao critério EC (84%).

Figura 10: Gráfico correspondente ás oito opções com pontuações individuais e globais idênticas.

Figura 11,12 e 13: Gráficos com os dados relativos às opções A1 e A3 e respetivas ponderações dos critérios.

Figura 14,15 e 16: Gráficos com os dados relativos às opções B1 e B3 e respetivas ponderações dos critérios.

Figura 17: Gráfico correspondente às opções B1 e A2 e respetivos desempenhos, atribuindo igual importância aos três critérios de desempenho (33,3%).

Figura 18: Gráfico correspondente às opções B1 e A2 e respetivos desempenhos dando maior importância (75%) ao critério de desempenho ambiental (EC).

Figura 19: Gráfico correspondente às opções B1 e A2 e respetivos desempenhos atribuindo maior importância (84%) ao critério de desempenho ambiental.

Figura 20: Gráfico com 24 opções e respetivos desempenhos, correspondente à atribuição de igual importância (33%) aos três critérios de desempenho.

Figura 21: Gráfico com 24 opções e respetivos desempenhos, correspondente à atribuição de maior importância (75%) ao critério ambiental.

Figura 22: Gráfico com 24 opções e respetivos desempenhos, correspondentes à atribuição de maior importância (84%) ao critério ambiental.

Figura 23 e 24: Matriz de julgamento dos critérios e escala de ponderação do cenário 1.1.

Figura 25 e 26: Matriz de julgamento dos critérios e escala de ponderação do cenário 2.1.

Figura 27 e 28: Gráficos com 24 soluções construtivas e respetivos desempenhos, correspondentes à atribuição da mesma ponderação aos critérios de desempenho (33,3%) e referentes a um clima quente e frio, respetivamente.

Figura 29 e 30: Gráficos com 24 soluções construtivas e respetivos desempenhos, correspondentes à atribuição da ponderação aos critérios de desempenho (75% EC; 12,5% U e 12,5% Mtsu) e referentes a um clima quente e frio, respetivamente.

Figura 31: Gráfico com 24 soluções construtivas e respetivos desempenhos, correspondentes à atribuição da ponderação aos critérios de desempenho (12,5% EC; 75% U e 12,5% Mtsu), referentes a um clima frio.

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tabela correspondente às pontuações atribuídas às paredes leves, de acordo com os critérios de desempenho.

Tabela 2: Tabela correspondente às pontuações atribuídas às paredes leves, de acordo com os critérios de desempenho.

Tabela 3: Tabela correspondente às pontuações atribuídas às paredes leves, de acordo com os critérios de desempenho.

Glossário de Siglas

AIRM – Aggregated Indices Randomization Method

AHP – Analytical Hierarchy Process

CORRIM – Consortium of Research on Renewable Industrial Material

DRSA – Dominance-based Rough Set Approach

EC – Carbono Incorporado

ELECTRE – Elimination Et Choix Traduisant la REalité

IT – Inércia Térmica

LCA – Life-Cycle Assessment

MACBETH – Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique

MAGIC – Multi-Attribute Global Inference os Quality

MCDA – Multiple Criteria Decision Analysis

Mtsu - Massa térmica superficial útil

OSB – Oriented Strand Board

PROMETHÉE – Preference Ranking Organisation MEthod for Enrichment Evaluation

U – Coeficiente de transmissão térmica unidirecional

XPS- Poliestireno extrudido

I. INTRODUÇÃO

Enquadramento

A indústria da construção tem sofrido grandes alterações no que diz respeito ao seu papel na sociedade, no meio ambiente ou até na forma como pode influenciar a vivência e percepção dos espaços. Tendo uma maior consciência da importância que significa um projeto, tem-se vindo a verificar, uma crescente preocupação para que, a conjugação de estes e outros fatores, resultem num projeto mais coerente consigo mesmo e com o que o rodeia, mais funcional e, o mais sustentável possível, no entanto, alcançar todos estes objetivos poderá tornar-se uma tarefa bastante complexa.

Para serem alcançados todos estes objetivos, é preciso atender às exigências do cliente e do próprio projeto em si, escolhendo os materiais mais adequados para alcançar o máximo de conforto dos espaços interiores, sabendo que o seu comportamento varia de acordo com o tipo de clima e consoante as características e desempenho do próprio material. Ao mesmo tempo, é necessário ter em atenção os custos associados às escolhas dos materiais, e à disponibilidade para assegurar que essa seleção é feita em conformidade com as exigências do projeto. Muitas vezes, esta seleção, que deveria ser apropriada, é posta em cauda devido ao limite financeiro que é imposto pondo em risco, mais tarde, o próprio conforto dos espaços. Além disso, outro dos problemas que se enfrentam atualmente, está relacionado com a vasta gama de materiais que estão disponíveis no mercado, muitos deles com informação deficiente ou inexistente acerca do seu desempenho térmico ou ambiental em função de um determinado clima ou das suas propriedades, agravando e atrasando ainda mais o processo de escolha.

Posto isto, escolher conscientemente o tipo de solução construtiva para cada situação é muito importante, porém, em muitos casos, poderá revelar-se uma tarefa muito complexa e difícil pela necessidade de serem conjugados vários critérios em simultâneo no processo de decisão.

Objetivos

Este estudo tem como principal objetivo, contribuir para que o processo de seleção de soluções construtivas para as fachadas seja o mais adequado e informado possível, tendo em conta as exigências individuais de cada projeto.

É através de uma análise pormenorizada, num total de 144 soluções construtivas para paredes exteriores leves em madeira, e usando em auxílio uma ferramenta multicritério de apoio à decisão, que será possível apresentar quais as melhores soluções, tendo em conta os critérios de desempenho definidos para o estudo. As diferentes soluções, deverão ser analisadas segundo o seu desempenho funcional, neste caso, tendo em conta as questões térmicas e segundo o seu desempenho ambiental, ou seja, verificar a quantidade de carbono incorporado nos diferentes materiais que compõem a solução construtiva em estudo e o seu impacte ambiental. Estes parâmetros conjugar-se-ão com climas específicos que influenciarão os resultados finais, e que visam informar e ajudar no processo detalhado e consciente, sobre quais as melhores soluções que permitam ao mesmo tempo, diminuir o impacte ambiental e melhorar o desempenho funcional do edifício através dos ganhos energéticos conseguidos pela escolha consciente e adequada das soluções construtivas.

A ferramenta multicritério de apoio à decisão que será utilizada neste estudo, foi desenvolvida por Carlos Bana e Costa, Jean Marie De Corte e Jean-Claude Vansnick, como forma de implementar os procedimentos do modelo Macbeth já anteriormente desenvolvido por estes. O software designado M-Macbeth, proporcionará fazer um julgamento qualitativo entre as várias soluções de forma a chegar à conclusão pretendida (Bana e Costa, De Corte, Vansnick, 2011).

Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em quatro capítulos. O primeiro capítulo diz respeito à introdução do trabalho, onde se inserem o enquadramento, os objetivos e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo, é dedicado ao estado da arte, que está subdividido em três partes sendo que, na primeira se abordam os problemas relativos ao setor da construção e aos materiais de construção e o quanto podem influenciar o bem-estar dos utilizadores dos espaços. O segundo subcapítulo introduz o tema das paredes leves em madeira e as suas particularidades. O terceiro subcapítulo, aborda o tema dos métodos de decisão, desde a sua origem até à sua diversidade de utilização.

O terceiro capítulo, é dedicado à metodologia de trabalho. Apresenta quais as soluções construtivas analisadas e os critérios de desempenho que estão sobre comparação, bem como, as duas fases de análise das soluções construtivas que dividiram esta metodologia. Sendo a primeira fase de análise ainda sem considerar qualquer tipo de clima que condicione os resultados e, na segunda fase da metodologia, onde é feita uma análise na sequência de um processo seletivo das soluções construtivas, em função da simulação de cenários reais de projeto com base em dois tipos de clima. No fim de cada uma destas fases de análise, é apresentada uma breve discussão dos resultados obtidos.

Por fim, no capítulo quatro são apresentadas as considerações finais de toda a metodologia de trabalho.

II. Estado da Arte

2.1 Problema da seleção de soluções construtivas

Nas últimas décadas, o ato de projetar um edifício ou habitação, tem-se tornado cada vez mais, uma tarefa amplamente complexa pelas várias exigências que envolve todo o processo. Independentemente da escala do projeto, um dos aspetos mais importantes em todo o processo do projeto centra-se, precisamente, na escolha dos materiais de construção e no devido conhecimento que é necessário conter para se realizar uma correta seleção dos mesmos, pela forma como condicionarão a vivência dos espaços interiores e exteriores. Embora nem sempre se revele uma tarefa simples, deve ser um processo conduzido por inúmeras pré-condições, decisões e considerações, de forma a otimizar todo o processo de construção e no futuro tirar partido do uso do edifício, mantendo um bom equilíbrio com o meio ambiente. No entanto, por falta de conhecimento ou formação por parte do arquiteto ou projetista responsável por esta tarefa, ou pela falta de informação acerca das características e potencialidades dos diferentes materiais, o processo de tomada de decisão relativamente aos materiais e soluções construtivas mais adequadas para cada projeto é, muitas vezes, inapropriado. Embora esta realidade esteja a mudar, ainda se verifica que, de uma forma genérica, este processo de decisão perante a escolha de materiais é efetuado baseando-se apenas nos conhecimentos e aptidões gerais do responsável (Ogunkah & Yang, 2012).

A crescente preocupação e consciencialização a que se assiste com a escolha dos materiais de construção está diretamente relacionada com a atual necessidade em minimizar os impactes ambientais que são causados pelo setor da construção. Os processos necessários para a obtenção e transformação dos materiais de construção ainda dependem, na maioria dos casos, de combustíveis fósseis, tornando assim, o setor da construção num dos maiores poluentes da atmosfera e consumidor excessivo de recursos naturais. Assim, torna-se fundamental que o projetista responsável pela determinação dos materiais, esteja consciencializado para os fatores de sustentabilidade destes e, posteriormente, das consequências das suas escolhas no uso do edifício em si (Neiva, Mateus & Bragança, 2012).

Atualmente, existe um grande leque de técnicas e soluções construtivas disponíveis que podem ser utilizadas nos diferentes projetos. Por isso, torna-se fundamental perceber quais as vantagens e desvantagens de cada solução e como estas se adaptam ao tipo de construção, tendo em conta o clima em que se inserem, a distância entre a fonte do recurso e o local a ser utilizado, a disponibilidade económica, entre outros. Portanto, para que o processo de escolha das soluções construtivas e respetivos materiais tenha uma base de sustentação,

existem alguns fatores importantes que poderão ajudar numa tomada de decisão mais adequada às condições e exigências do projeto, nomeadamente:

(Mateus, 2004)

- Pensar na durabilidade da solução construtiva, em comparação com a vida útil estimada para a construção;
- Deve ser realizada uma análise dos custos da solução, abrangendo desde a extração dos materiais até à sua destruição;
- O comportamento térmico dos materiais também deve ser analisado, a forma como a solução construtiva influencia o ambiente interior, tendo como objetivo a redução da quantidade de energia necessária nos processos de aquecimento e arrefecimento;
- O impacte ambiental, tanto dos materiais, como de todos os processos associados;
- A utilização de mão-de-obra especializada na solução pretendida;
- A disponibilidade dos materiais e o local de aquisição, quanto mais próximo do local de construção, menos custos e energia associados;
- A facilidade e disponibilidade de manutenção do edifício;
- Pensar numa possível reutilização ou reciclagem dos materiais.

Embora estes sejam alguns parâmetros que podem auxiliar arquitetos e projetistas no processo de escolha relativamente às soluções construtivas a utilizar, existem outras ferramentas que também o fazem. É o caso dos modelos de análise multicritério e os respetivos *software*. Alguns destes, foram desenvolvidos com o intuito de, através de métodos comparativos, classificar as várias opções de soluções construtivas como “melhores” ou “piores” umas em relação às outras, consoante as características de um determinado projeto e consoante os parâmetros de comparação, quer sejam ambientais, funcionais ou outros (Neiva, Mateus & Bragança, 2012).

Ao contrário do que se verificava a algumas décadas atrás, o desenvolvimento no setor da construção, e os altos padrões de vida de hoje em dia, suscitam uma maior globalização nos materiais de construção. Anteriormente, os materiais e recursos utilizados na construção eram os que estavam disponíveis no local, ou nos arredores mais próximos. Hoje em dia, esta realidade é completamente diferente, quando verificamos que existem materiais que são constantemente exportados para outras regiões e quando, o mais comum é construir com materiais como, betão, blocos, aço ou alumínio, mesmo sendo sinônimo de um aumento dos consumos energéticos e maiores impactes ambientais.

O setor da construção civil, é responsável por explorar e consumir cerca de 40% dos recursos naturais disponíveis, sendo o setor que mais afeta o meio ambiente. Ao mesmo tempo, é também durante a fase de uso de um edifício que se verifica a maior quantidade de energia consumida durante todo o seu ciclo de vida, totalizando cerca de 80% a 94% do consumo. Esta percentagem, corresponde maioritariamente, aos processos de aquecimento e arrefecimento que são necessários para manter o conforto dos espaços interiores, e resulta de um mau equilíbrio entre as soluções construtivas adotadas e o clima exterior (Mateus, Neiva, Bragança, Mendonça, & Macieira, 2013).

Em Portugal, entre 2001 e 2002, foram construídos cerca de 200 000 novos edifícios, trazendo consequências graves ao nível dos consumos energéticos. Tendo em conta que se trata de um país totalmente dependente relativamente às questões energéticas, os excessivos consumos de energia que são praticados atualmente, tornam-se questões importantes e preocupantes dentro do meio da construção (Mateus, 2004). Em consequência de todos estes consumos verificados, têm vindo a ganhar importância o conceito de sustentabilidade, que visa, entre outros objetivos, a redução da utilização de energia e de emissões de poluentes durante todas as fases do ciclo de vida de um edifício, redução dos consumos de água, a utilização de materiais de baixo impacte ambiental nos sistemas construtivos e, mesmo assim, assegurar uma adequada qualidade do ambiente dos espaços interiores (Bragança & Mateus, n.d.). Conjugar estes e outros objetivos, ponderando sempre o tipo de clima onde se insere o projeto e transpor todas estas preocupações para o desenho das soluções construtivas, torna mais fácil alcançar o objetivo de sustentabilidade na construção.

Para serem definidas soluções construtivas em função dos diferentes climas, é necessário considerar algumas características específicas para as paredes exteriores. Em ambientes onde o clima é quente e seco, é preferível optar por soluções construtivas com elevada inércia térmica. Nestes ambientes, é normal a ocorrência de grandes amplitudes térmicas diárias e, para que essas oscilações não influenciem a temperatura no interior

dos espaços, o uso de soluções construtivas com elevada inércia térmica, ajudam a atenuar e retardar esse processo também no interior. O processo de armazenamento de calor faz retardar o eventual aquecimento dos espaços interiores durante o dia, libertando-o à noite quando a temperatura exterior baixa. Em ambientes quentes e húmidos, onde não existem grandes variações de temperatura durante o dia e noite, o uso de materiais com baixa inércia térmica é o mais adequado.

Por outro lado, no caso de o edifício se localizar num ambiente com o clima frio, o mais adequado será utilizar soluções com grandes espessuras de isolamento térmico de modo a proteger a temperatura interior. No entanto, em relação à inércia térmica dos materiais, esta dependerá também do fluxo de uso, ou seja, se estiver prevista uma ocupação ocasional, não é adequado a utilização de materiais com elevada inércia térmica, uma vez que esta característica atrasa o aquecimento natural dos espaços interiores, promovendo o gasto de energia com ações mecânicas. Se pelo contrário, está prevista uma ocupação permanente dos espaços, é aconselhável a preferência por materiais com elevada inércia térmica, o que trará como boa consequência, a redução nos consumos energéticos (Mateus, 2004).

2.1.1 Ciclo de vida dos materiais e o seu impacte ambiental

Sabendo que, o setor da construção é dos maiores responsáveis pelo impacte ambiental a que se assiste, foram criados nas últimas décadas, métodos ou ferramentas auxiliares que permitem avaliar qual o contributo de um, ou mais materiais, para esse fenómeno. Contudo, nessa avaliação são também analisadas quais das diferentes fases de uso do edifício mais contribuem para a negatividade dos indicadores ambientais responsáveis pelas alterações climáticas, chuvas ácidas, destruição dos habitats ou pela destruição da camada de ozono, entre outros.

Para a utilização de ferramentas que permitam fazer uma avaliação dos indicadores ambientais de cada material, é necessário pensar em todas as partes que constituem o edifício para depois ser pensado como um todo. Uma destas ferramentas, conhecido como o método *Life-Cycle Assessment (LCA)* ou Análise do Ciclo de Vida, é aplicado numa primeira fase do estudo, depois de ser realizada uma exaustiva descrição de todos os materiais que integram as soluções construtivas em análise. Este, é um processo de análise que considera todas as etapas por que passam os materiais de construção, considerando desde os processos de extração e transformação da matéria-prima, passando pelo transporte para o local, pelo processo de construção, uso e manutenção dos mesmos, até ao processo de demolição do edifício e posterior destruição ou reutilização dos materiais. (Neiva, Mateus & Bragança, 2012).

A análise que é realizada aos materiais e fases de uso do edifício, através do método de Análise do Ciclo de Vida, refere-se à quantificação do consumo de recursos naturais e de energia, assim como, à quantificação das emissões de gases que são constantemente libertadas para a atmosfera, em consequência de todos os processos adjacentes à construção. Desta forma, este método, constituiu uma ferramenta que têm sido utilizada no meio da construção nas últimas décadas, como forma de auxílio para a escolha de materiais de construção mais sustentáveis e que, simultaneamente, possam garantir um melhor desempenho ambiental e funcional do edifício (Cabeza, Rincón, Vilariño, Pérez, & Castell, 2013).

R. Mateus *et al.* (2013) apresentam uma solução que permite desenvolver uma tecnologia sustentável de construção leve de paredes divisórias interiores. O seu estudo, baseou-se na avaliação e comparação de dois modelos base, a parede divisória pesada de tijolo e uma parede leve com painéis de gesso, com outros tipos de paredes divisórias leves, tendo em conta os desempenhos ambientais, funcionais e económicos dessas

soluções. O seu estudo comparativo tem por base o método de Avaliação do Ciclo de Vida e o método multicritério de ajuda à decisão, como forma de análise dos fatores de sustentabilidade das soluções construtivas (Mateus, Neiva, Bragança, Mendonça, & Macieira, 2013).

Radhi e Sharples (2013) promoveram um estudo onde o objetivo seria avaliar qual o impacte ambiental causado por diferentes tipos de fachada, nomeadamente qual o seu contributo para o efeito do aquecimento global. Foram analisadas cinco soluções de fachada, todas elas correspondendo a diferentes camadas de materiais entre si. Utilizando o método de Análise do Ciclo de Vida, conseguiram possível verificar que, para que os níveis de emissões de dióxido de carbono baixassem, seria imprescindível reduzir em primeiro lugar as emissões resultantes dos processos de fabrico dos blocos de cimento (Cabeza, Rincón, Vilariño, Pérez, & Castell, 2013).

Wallhagen *et al.* (2011), também realizaram um estudo utilizando o mesmo método de análise, em que foram testadas 12 medidas de otimização para um edifício de serviços na Suécia, com o objetivo de conseguir reduzir o consumo de energia e das emissões de gases poluentes para a atmosfera. Nesse estudo concluíram que, se conseguissem conjugar essas 12 medidas de otimização, era possível reduzir em 48% as emissões de gases efeito de estufa, durante todo o ciclo de vida do edifício. Uma das medidas previstas, seria a substituição das tradicionais vigas de betão por vigas de madeira (Viegas, 2012).

2.2 Paredes Leves Exteriores em Madeira

O conforto pretendido e que é necessário para uma boa vivência dos espaços interiores, depende em muito das características específicas das paredes exteriores, uma vez que é através destes elementos que se processa a maior parte das trocas térmicas. São estes elementos que definem a fronteira entre o ambiente exterior e o ambiente interior – com características distintas - que, ao conjugarem diversas funções através dos seus elementos construtivos, podem oferecer um bom equilíbrio entre os aspetos funcionais e também ambientais. Dada a sua importância, torna-se imprescindível olhar para os elementos construtivos de fachada, não apenas como elementos estruturais ou visuais, mas dando-lhe a devida importância, evitando assim consequências graves no futuro da existência do edifício e da vivência dos seus espaços. Para tal, alguns dos aspetos a ter em conta na projeção das fachadas, entre outras questões, estão relacionados com a importância da proteção térmica e impermeabilização em todas as áreas das paredes exteriores, bem como, a otimização dos recursos naturais como a ventilação e iluminação natural, de forma a proporcionar um maior equilíbrio entre os ambientes. Pensar nestes conceitos para o desenvolvimento das soluções construtivas, conjugando e adaptando ao clima e ao local onde se insere o edifício ou habitação, será a melhor opção para se alcançar uma construção mais sustentável.

A atenção para com o desenho das soluções construtivas, em função de todas estas preocupações anteriormente referidas, proporcionará uma diminuição da quantidade de energia consumida durante a fase de utilização do edifício, uma vez que é diminuída a necessidade de serem realizadas operações de conforto térmico dos ocupantes (Mateus, 2004).

No contexto Nacional, o uso de paredes exteriores leves com estrutura em madeira ainda não tem um papel de destaque nas preferências de métodos de construção, principalmente, devido à inexistência de estudos sobre o seu comportamento físico e mecânico, levando a que a escolha da solução construtiva recaia sobre os materiais mais usuais. No entanto, esta realidade é completamente distinta nos países nórdicos e nos Estados Unidos, onde prevalece a construção com estrutura em madeira, principalmente de habitações, uma vez que é necessário alcançar um grande conforto térmico pelas baixas temperaturas que se verificam periodicamente (Oliveira, 2012).

Os vários elementos que compõem as fachadas de um edifício e definem o seu sistema construtivo, quer seja num todo ou em separado, são elementos importantes para que se possa alcançar alguns dos objetivos que definem uma construção sustentável. Para que isto aconteça, durante a fase de desenvolvimento dos projetos, é necessário ter algumas considerações e preocupações em mente, como a redução do consumo de energia durante a fase de uso do edifício ou habitação, e sempre que possível conjugar com a utilização de materiais de construção que tenham um bom comportamento ambiental.

A utilização de materiais como a madeira, quer para os elementos estruturais das paredes exteriores, quer também para o seu revestimento, apresenta algumas vantagens em relação a outros materiais de construção mais frequentes. Uma das características da madeira e que a faz distinguir de todos os outros materiais, é o fato de ser um recurso natural renovável. Além disso, é um material sustentável uma vez que, se apresenta como um recurso que, durante a sua fase de crescimento apenas depende de recursos ambientais e, se tratado devidamente, pode ser encarado como um recurso inesgotável.

Portanto, trata-se de um material que apresenta um baixo nível de energia incorporada, pela sua fonte de energia ser o sol e, simultaneamente, apresenta um baixo impacte ao nível das emissões de carbono por se tratar de uma matéria-prima que se desenvolve naturalmente e não depende de um processo de transformação tão complexo, comparativamente com outros materiais de construção que têm que ser extraídos e processados. Além das suas vantagens enquanto recurso sustentável, apresenta uma característica muito própria, ao ser um material que permite facilmente a sua recuperação e reutilização para desempenhar a mesma função, ou outra, no fim de vida do edifício.

Segundo um estudo efetuado pelo *Consortium for Research on Renewable Industrial Material (CORRIM)*, os dados recolhidos indicam que a energia consumida durante o processo de transformação de materiais de construção como o ferro e o carvão para o aço, ou até a transformação da madeira para a fabricação de derivados e posterior construção de uma habitação em Minneapolis com a estrutura em aço, representa mais 17% de energia gasta, em comparação com a construção de uma habitação com estrutura de madeira (USDA, 2012).

As vantagens do uso da madeira na construção, não se aplicam apenas quando são analisados os fatores ambientais. De uma forma geral, as casas que são construídas utilizando a madeira nas paredes exteriores, apresentam um excelente isolamento térmico e o seu comportamento higroscópico promove um maior equilíbrio no interior da fachada. Devido às propriedades deste material, é possível manter uma temperatura interior estável durante todo o ano, não permitindo grandes variações térmicas, tornando assim mais vantajoso o uso deste material nas paredes exteriores. (Oliveira, 2012). Além deste controlo da variação da temperatura interior, a madeira apresenta vantagens ao nível das questões práticas da materialidade, ou seja, é possível garantir muita resistência embora com pouca espessura, podendo ser usada em técnicas mais avançadas de construção (Herzog, Krippner & Lang, 2004).

2.3 Modelos de Análise Multicritério

2.3.1 Evolução da sua utilidade

O ato de tomar qualquer tipo de decisão, quer seja de um único indivíduo ou vários, certamente provocará respostas ou consequências positivas ou negativas consoante a situação a que esteja associada essa escolha e qual o seu objetivo final. No entanto, o processo necessário que nos conduz à decisão final, nem sempre se revela um processo simples e, em muitos casos, envolve tantos outros critérios de ponderação e comparação, que dificultam e põe em questão a resposta final que nos parece ser a mais aceitável (Rietkötter, 2014). Esta capacidade de tomar decisões conscientemente, e que nos faz distinguir de qualquer outra espécie animal, é um assunto que já os filósofos Aristóteles e Platão, assim como o frade da Ordem dos Pregadores Tomás de Aquino se dedicavam ao seu pensamento e estudo, defendendo ser este o fator determinante para a tomada de decisão. Não só os filósofos Aristóteles e Platão, mas também Ignatius of Loyola (1491 – 1556) e Benjamin Franklin (1706 – 1790), foram dois grandes pensadores que contribuíram para esta reflexão sobre o ato de decisão. Nos textos apresentados por ambos, expunham a importante relação que deveria haver entre o fato de o ato de decisão ser consequência imediata de uma comparação dos diferentes pontos de vista. Embora o processo apresentado por ambos defendesse o recurso à utilização de critérios a favor e outros contra, esta seria a condição imprescindível para favorecer a decisão final.

Perante todas estas questões e diferentes pensamentos, durante mais de trinta anos o tema relacionado com os problemas da decisão ganhou maior atenção por parte dos investigadores, abordando expressamente os prós e contras dos diferentes pontos de vista. É então que surge o conceito *Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA), caracterizando-se como um método de apoio à decisão no que diz respeito à escolha ou classificação isto, quando é necessário recorrer a vários parâmetros em comparação para tomar uma decisão. Este modelo de apoio à decisão não foi apenas caso de estudo, análise ou pensamento por parte de filósofos. Muitos aspectos relacionados com o conceito *Multiple Criteria Decision Analysis*, foram aplicados também em outras áreas distintas da filosofia, tais como, na economia ou na teoria da escolha social direcionada para o voto, onde o objetivo seria perceber quais as opiniões dos eleitores de uma comunidade referente às preferências sociais ou coletivas dos cidadãos (Figueira, Greco, Ehrgott, 2005).

Embora a origem dos sistemas de votos seja atribuída aos filósofos Jean-Charles de Borda (1733-1799) e Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat (1743-1794), o que é certo é que, muitos antes, já outros filósofos se preocuparam com estas questões de decisão (Figueira, Greco, Ehrgott, 2005). A teoria de escolha social, desenvolvida por Charles Borda na época da Revolução Francesa durante o século XVIII, tinha como principal preocupação, privilegiar os direitos humanos e promover uma maior ordem social racional. Segundo Kansas, Laukkonen e Kangas (2006), a explicação deste método apresentado por Borda passa por perceber que se trata de um procedimento de avaliação ordinal, onde o eleitor deve ordenar as alternativas de acordo com as suas preferências, classificando com maior pontuação a alternativa preferida e, consequentemente, decrescendo em pontuação à medida que o seu interesse pelos critérios também diminuiu. No entanto, a qualidade do resultado deste método do sistema de votos, depende também da possibilidade de descartar, inicialmente, critérios que sejam considerados irrelevantes para o próprio resultado. Este é um método que, segundo Costa (2010) também pode ser aplicado em situações que envolvam múltiplos critérios de avaliação para várias alternativas de escolha (Silva, 2015).

Depois de Jean-Charles de Borda expor a sua teoria de escolha social, Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat, Marquês de Condorcet, também apresenta a sua teoria, após Borda detetar falhas no seu próprio sistema eleitoral, defendendo ser o mais correto e o mais justo perante os fatos apresentados. Trata-se de um método baseado em comparações que são feitas duas a duas entre os critérios a serem avaliados, no chamado Critério do Vencedor de Condorcet. Por exemplo, no caso de se tratar de vários candidatos a qualquer cargo e se existir um candidato que derrote todos os outros utilizando o critério de comparações dois a dois, então esse deve ser o justo vencedor (Joaquim Pinto, 2006).

Apesar da preocupação com o processo de decisão ser uma constante ao longo do tempo, foi nos anos 60, que os conceitos básicos do *Multiple Criteria Decision Analysis* começaram a ser considerados com maior peso nas tomadas de decisão. No entanto, é nos anos 70 que se considera como o ano oficial do início do uso deste método de apoio à decisão, aquando da realização da conferência "Multiple Criteria Decision Making" organizada pela Universidade da Columbia na Carolina do Norte, em 1972 (Figueira, Greco, Ehrgott, 2005).

2.3.2 Modelo de análise multicritério de apoio à decisão

A aplicação de diferentes modelos de análise multicritério nos problemas do quotidiano é muito frequente e abrange diferentes situações nas mais variadas áreas. Como tal, é possível verificar a sua utilização em áreas como, finanças, planeamento, telecomunicações, ecologia, entre outros. Relativamente ao uso destas ferramentas na área das telecomunicações, está relacionado com o fato de os responsáveis pelo planeamento do fornecimento de energia, se depararem constantemente com diversas questões de ordem funcionais. São cada vez mais frequentes as preocupações com inúmeros parâmetros, nomeadamente, quais os tipos de recursos energéticos mais favoráveis para um determinado local, quais as tecnologias de conversão a utilizar ou ainda, a escolha dos locais onde colocar os diferentes dispositivos de forma a otimizar todo o serviço. Este é um dos exemplos onde, os responsáveis por estas decisões, terão que ter consciência que as suas ações e escolhas, poderão ter repercussões num futuro próximo para terceiros. Portanto, estando perante uma situação que acarreta muitas variantes a ter em conta para a tomada de decisão, já não deverá ser resolvida com as ferramentas tradicionais, mas sim com o recurso aos métodos multicritério (Figueira, Greco, Ehrgott, 2005).

Quando um indivíduo, neste caso o decisor, é confrontado com uma multiplicidade de opções relativas a uma determinada ação, é sinónimo de estar perante um processo de decisão. Entende-se por decisão, um processo de tomada de medidas, com várias alternativas disponíveis, por parte de um único indivíduo ou por um grupo de decisores. Neste processo, é possível distinguir três fases pelas quais o indivíduo ou o grupo se devem confrontar:

- A necessidade de formular alternativas ou cenário possíveis;
- Avaliar as alternativas e as consequências que terão no futuro;
- A escolha, que significa selecionar uma opção de acordo com o resultado das suas avaliações.

(Fei, Giovannoni, Mocenni & Sparacino, s.d.)

A Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão, é utilizada como uma ferramenta de apoio ao decisor ou grupo de decisores, quando estes se confrontarem em algum momento, com uma situação em que existam inúmeras e conflituosas opções de escolha. É uma metodologia que permite ajudar o decisor na fase inicial de organização e síntese da informação disponível (Fei, Giovannoni, Mocenni, Sparacino, s.d.).

Portanto, trata-se de uma abordagem e um conjunto de técnicas que têm como principal objetivo, informar sobre uma ordenação geral de opções, de acordo com as preferências do decisor e que variam desde a mais preferida até à menos preferida (Cruz & Cova, 2007). Esta avaliação e ordenação do grau de preferência relativamente às opções de escolha, resulta da ponderação de informação qualitativa e quantitativa complexa, tendo por base dados objetivos e subjetivos e a sua importância relativa.

O fato de, nestes métodos multicritério, ser possível integrar aspectos de natureza objetiva, ou seja, os dados factuais, e aspectos de natureza subjetiva, relacionados com os sistemas de valores e preferências dos decisores na sua avaliação, torna-os vantajosos comparativamente a outros. Também a possibilidade de ser o decisor o responsável pela seleção dos objetivos e dos critérios a comparar, e determinar da sua importância relativa, são fatores que contribuem para a sua diferenciação em relação aos métodos monocritério. A Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão, além de ser um método aberto e explícito, permite ao grupo de decisores a escolha dos objetivos/critérios que poderão ser alterados ou analisados se, entretanto, se tornarem inapropriados ou desacuados. É ainda, um modelo que permite estabelecer pesos aos critérios sobre uma base sólida científica que tem em consideração todos os prós e contras, vantagens e desvantagens entre os critérios e, por fim, apresenta-se como um método que promove o meio de comunicação importante dentro do grupo responsável pelo processo de tomada de decisão, onde poderia haver algum conflito, dando também a possibilidade da sua utilização em diferentes organizações ou mesmo na comunidade em geral (Dias, T. 2014).

Como já foi referido, existem vários métodos multicritério, mas os mais utilizados são: *Analytical Hierarchy Process (AHP)*, *Multi-Attribute Global Inference of Quality (MAGIQ)*, *Goal Programming*, *ELECTRE (Outranking)*, *PROMETHÉE (Outranking)*, *Data Envelopment Analysis*, *The Evidential Reasoning Approach*, *Dominance-based Rough Set Approach (DRSA)*, *Aggregated Indices Randomization Method (AIRM)* (Fei, Giovannoni, Mocenni, Sparacino, s.d.). Uma vez que existem vários modelos multicritério e nem todos seguem o mesmo processo de análise, é possível identificar três grupos para classificar as metodologias *MCDA (Multiple Criteria Decision Analysis)*: Métodos de Critérios Únicos de Síntese, Métodos de Outranking e Métodos Interativos com Abordagem de Teste e Erro.

Os Métodos de Critérios Únicos de Síntese possuem uma teoria fundamentada na ideia de que, as preferências de um determinado decisor estarão de acordo e serão coerentes perante a representação de uma função, considerando apenas situações de preferência e indiferença. É pedido a um investigador que analise a função com o recurso de modelos aditivos, multiplicativos ou outros.

Os Métodos de *Outranking* referem-se a um modelo binário que compara os argumentos favoráveis e contrários à teoria de que uma determinada ação A é no mínimo tão boa quanto a ação B, quer isto dizer que, a ação A é “não inferior a” B (Dias, T. 2014). É um método que permite ainda, estabelecer um tratamento de incomparabilidade entre ações. Se uma ação A, é considerada melhor do que as ações B e C, então deixa de ser necessário atribuir qualquer tipo de ordem entre as opções menos preferidas, sendo que, ao permanecem incomparáveis não põe em causa o procedimento de tomada de decisão (Vincke, 1992).

Métodos Interativos com Abordagem de Teste e Erro, é um método que, durante o seu processo, prevê a alternância entre o uso de ferramentas matemáticas computacionais e o diálogo entre o decisor ou grupo de decisores. Portanto, o resultado apresentado pelo primeiro contato computacional, é posteriormente apresentado ao decisor que, através de informação extra que é fornecida pelo mesmo dizendo respeito às suas preferências, possibilita a construção de uma nova solução. Assim, sendo o diálogo a principal ferramenta de investigação, faz com que o decisor intervenha no procedimento e não apenas na fase inicial de definição do problema (Vincke, 1992).

O objetivo dos métodos de análise multicritério é o de ajudar no processo de decisão quando estes envolvem problemas complexos e critérios conflituosos, e não o de ditar qual a decisão mais correta, portanto, é possível seguir alguns passos transversais aos métodos multicritério que ajudam no processo do uso destas ferramentas, desconstruindo um problema como forma de chegar mais facilmente aos objetivos da questão.

A primeira etapa da aplicação do *MCDA* é estabelecer o contexto da decisão e do problema a resolver, bem como, a definição dos objetivos e das tarefas a realizar, para uma correta contextualização dos temas apresentados e do propósito da decisão (Dias, T. 2014). É ainda importante definir conscientemente os intervenientes no processo de decisão. De seguida, é importante identificar as opções que estarão sob comparação, embora este seja um processo que não deve ser dado por terminado numa primeira abordagem, pois, sendo o resultado do pensamento humano, é possível que haja alterações ou adicionadas opções durante o processo (DCLG, 2009).

O terceiro passo é identificar os objetivos e critérios. Os critérios, qualitativos ou quantitativos, são ferramentas que são utilizados para a avaliação das alternativas. Para uma correta definição destes, é aconselhado que sigam uma lógica para a sua definição:

- Devem ser abrangentes;
- Coerência: se uma alternativa é melhor individualmente, também o deverá ser no geral;
- Os critérios não devem ser redundantes, para tal, é necessário proceder à eliminação de critérios fúteis.

(Cruz & Cova, 2007)

Posteriormente, é necessário pontuar os critérios, com base numa avaliação do desempenho esperado de cada opção em relação aos mesmos. Assim que esta tarefa é realizada, deve-se proceder à verificação da escala, que deve estar consistente, uma vez construída corretamente.

Associado à pontuação dos critérios, vem a etapa seguinte que consiste na sua ponderação. Consoante o número de critérios em causa, a cada um deles é atribuída uma ponderação, que varia numa escala de 0 a 100, e que reflete a sua importância relativa para a decisão.

A fase de análise dos resultados resume-se, concretamente, à análise das opções que são ordenadas a partir do nível superior através da média ponderada de todas as preferências. Esta ordenação resulta numa indicação genérica de quanto uma opção é mais adequada do que outra.

Por fim, a análise de sensibilidade constitui-se como uma ferramenta que auxilia o grupo de decisores, em caso de haver discordância entre estes em relação aos resultados obtidos previamente. A análise de sensibilidade permite perceber de que forma alterações nas ponderações dos critérios podem fazer diferença nos resultados finais (DCLG, 2009).

2.3.3 Modelo de análise M-Macbeth

O modelo de análise Macbeth (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), trata-se de um modelo de apoio à decisão, tendo sido desenvolvido por Carlos A. Bana e Costa e Jean-Claude Vansnick, no início dos anos 90. Segundo a descrição feita pelos próprios autores, este modelo “é uma abordagem de análise multicritério que necessita apenas de julgamentos qualitativos sobre diferenças de valores para ajudar o decisor, ou um grupo de aconselhamento de decisão, a quantificar a atratividade das opções¹” (Bana e Costa, De Corte, Vansnick, 2003). Como forma de implementar o procedimento do modelo *Macbeth* já concretizado por Bana e Vansnick, foram os próprios autores do modelo, a desenvolver um software designado *M-Macbeth*. Trata-se de uma ferramenta que inclui funcionalidades que ajudam a estruturar os critérios de comparação, bem como, os processos de análise e interpretação dos resultados obtidos com a sua aplicação (Bana e Costa, De Corte, Vansnick, 2011).

Para facilitar o processo do uso do modelo Macbeth, é recomendado ao decisor, ou o grupo de decisores que, em primeiro lugar, estabeleça a estrutura do seu problema de uma forma esquemática. Partindo da definição do objetivo da sua avaliação, é sugerido que determine “nós” não-critério, que são os critérios de fragilidade e que não são quantificados nem avaliados, ou seja, são as pré-condições a ter em conta na tomada de decisão. De seguida, é preciso enumerar os critérios que estarão sujeitos à comparação entre si (Rietkötter, 2014). Ao contrário de outros modelos multicritério de apoio à decisão, o modelo *Macbeth* recorre apenas a julgamentos qualitativos aplicados nas diferenças de atratividade em relação aos critérios definidos. No entanto, são geradas automaticamente através do software *M-Macbeth*, as classificações qualitativas em pontuações correspondentes, em conformidade com o grau de atratividade dado previamente a cada um dos critérios (Bana e Costa, De Corte, Vansnick, 2012).

Assim, é possível classificar cada critério escolhendo uma opção de acordo com os sete julgamentos qualitativos que são disponibilizados pelo modelo: Indiferença; Muito Fraca, Fraca, Moderada, Forte, Muito Forte ou Extrema. É ainda permitido, classificar duas ou mais categorias consecutivas com o julgamento de discordância ou hesitação, mas nunca o de indiferença.

Visto ser um modelo multicritério que recorre à comparação em pares, o próprio *software M-MACBETH*, sempre que detete uma inconsistência na classificação dos critérios, é capaz de, através da utilização de programação matemática, verificar a consistência e sugerir alterações nos julgamentos de maneira que estejam em conformidade uns em relação aos outros (Bana e Costa, De Corte, Vansnick, 2011). Como já foi referido anteriormente, o *software* é capaz de traduzir as classificações qualitativas atribuídas aos critérios em pontuações quantitativas, através de um gráfico com escala numérica de 0 a 100, correspondendo respetivamente, ao critério menos atrativo e ao critério mais atrativo, de acordo com as opções de atratividade tomadas pelo decisor (Bana e Costa, De Corte, Vansnick, 2012). A posição que é apresentada no gráfico entre duas pontuações diferentes, naturalmente, representarão a proporção entre as diferenças de atratividade entre ambas (Bana e Costa, De Corte, Vansnick, 2011). É neste eixo de escalas, que é possível comparar os intervalos entre os valores obtidos e, possivelmente, chegar à conclusão pretendida do nível de atratividade dos critérios, se o decisor estiver satisfeito com os resultados obtidos ou, por outro lado, se assim o entender ajustar essas mesmas pontuações conforme os seus interesses.

Sendo *M-Macbeth* um modelo qualitativo, onde é possível ajustar manualmente os valores pontuais obtidos, garantindo ao longo de todo o processo resultados mais precisos e concretos e de acordo com as intenções do decisor, é ainda possível recorrer ao diagrama de análise de sensibilidade e ao quadro de análise de robustez, para uma análise ainda mais detalhada. No primeiro, verifica-se se a melhor opção mudaria em consequência de uma pequena alteração no julgamento dado ao critério, enquanto no quadro de análise de robustez, é possível verificar qual dos critérios é o mais atrativo e quando dois critérios são incomparáveis significa que nenhum deles é mais atrativo do que o outro (Bana e Costa, De Corte, Vansnick, 2012).

¹ Traduzido pela autora da frase original: “is a multicriteria decision analysis approach that requires only qualitative judgments about differences of value to help a decision maker, or a decision-advising group, quantify the relative attractiveness of options”.

2.3.4 Aplicação do Modelo de Análise Multicritério em vários contextos

O surgimento deste modelo *Multiple Criteria Decision Analysis*, como um método de apoio à decisão, que consegue abranger e ser aplicado em muitos campos científicos, tem sido um tema bastante discutido e analisado ao longo dos anos, promovendo cada vez mais o surgimento de diversos artigos e livros que abordam este tema. Este é um modelo que se baseia não só, numa técnica que conjuga métodos ou teorias, mas também de uma perspetiva específica para lidar com problemas de decisão nas mais variadas áreas.

Jaap Spronk, Ralph Steuer e Constantin Zopounidis refletem um dos muitos casos em que, após um estudo aprofundado deste modelo MCDA, perceberam que poderia haver uma forte contribuição para a melhoria das decisões na área das finanças. Assim, concluíram que a aplicação deste método seria possível na medida em que permitiria a estruturação de problemas de avaliação na área, ou seja, com a introdução de critérios quantitativos, nos indicadores financeiros, e critérios qualitativos nos processos de avaliação.

Também Danae Diakoulaki, Carlos Henggeler Antunes e António Gomes Martins, apresentaram a aplicação do modelo de análise multicritério, na resolução de eventuais problemas no planeamento energético nas cidades. No que diz respeito a este assunto, a dificuldade associada ao planeamento energético está em tomar decisões para sociedades tecnologicamente desenvolvidas, isto quando a própria tecnologia está em constante evolução, assim como a própria sociedade. Portanto, as decisões que normalmente têm que ser tomadas nestes casos por diferentes agentes em simultâneo, faz com que os próprios decisores tenham que ter em consideração muitos aspectos técnicos, socioeconómicos e ambientais associados à sociedade e à envolvente em questão. Em consequência disso, as suas escolhas devem conseguir adaptar-se às novas necessidades da população e da cidade que está em constante evolução.

Um pouco à semelhança de Diakoulaki, Antunes e Martins, João Clímaco e José Craveirinha, também sugerem a aplicação do método MCDA no planeamento e design das redes de telecomunicação. Visto ser uma área propícia a múltiplos conflitos de opiniões, quer pelo fato de estar também associado às questões socioeconómicas, quer pelas questões tecnológicas que acarreta. Mais uma vez, verifica-se uma situação fortemente relacionada com a problemática das constantes evoluções no mundo da tecnologia e dos serviços e pela adaptabilidade que é necessária nestes casos, tendo em conta as necessidades da sociedade e do meio-ambiente (Figueira, Greco, Ehrgott, 2005).

Os métodos *Multiple Criteria Decision Analysis*, também se podem aplicar na arquitetura e, consequentemente, na ajuda de muitas decisões complexas que têm que ser tomadas nesta área. Por exemplo, quando se lida com uma remodelação total de um edifício, existem vários aspetos que têm que ser analisados e ponderados para um resultado final positivo e em conformidade com as necessidades e exigências de um projeto. Aspetos técnicos, tecnológicos, sociais, aspetos relacionados com o conforto dos espaços ou decisões relacionadas com a estética do edifício faz com que, tudo conjugado, se torne num complexo sistema que carece de variadas tomadas de decisão. No entanto, não devem carecer de análise e tomadas de decisão conscientes, uma vez que, são estes alguns dos componentes que irão determinar o sucesso ou insucesso do projeto. Portanto, recorrer a estes métodos de apoio à decisão revela ser uma valia para a resolução destas questões, que por vezes se revelam muito complexas (Kaklauskas, Zavadskas & Raslanas, 2004).

III. Metodologia de trabalho

3.1 Soluções construtivas analisadas

As soluções construtivas a serem analisadas neste estudo, foram selecionadas de modo a identificar as variações de desenho e as dimensões padrão mais frequentes neste tipo de construção - paredes leves em madeira.

Foram identificadas e analisadas 144 soluções construtivas para paredes leves exteriores em madeira, tendo sido divididas em dois grupos, designados A e B. O que faz diferenciar as soluções destes dois grupos, é o fato de as soluções que compõem o primeiro grupo, possuírem uma segunda camada de isolamento térmico que se sobrepõe aos elementos estruturais (anulando pontes térmicas), a que está associada uma camada de suporte, em OSB ou contraplacado. Para todas as soluções, foram consideradas como material de revestimento exterior, ripas horizontais de madeira, com 20 mm de espessura, suportadas por uma estrutura ripada vertical do mesmo material, com 40 mm de espessura e afastamento constante a eixo de 600 mm.

No caso das soluções designadas pelo grupo A (figura 1), os restantes materiais que completam a solução construtiva são, respetivamente, do exterior para o interior, uma membrana de proteção tipo *Tyvek* (impermeável à água, mas permeável ao vapor), uma camada de suporte, que varia entre OSB e contraplacado, com 12mm de espessura, isolamento térmico, também em aglomerado negro de cortiça, lã de rocha e XPS (com espessura de 30mm) e, uma nova camada de suporte, em OSB ou contraplacado, os montantes estruturais tendo-se considerado larguras de 89, 114 ou 140mm e afastamento a eixo de 300mm ou 600mm. No intervalo entre prumos, é colocado isolamento térmico, com 80mm de espessura, encostado ao pano interior, e que pode variar entre os três tipos de isolamento já mencionados. As variações de largura e afastamento entre elementos estruturais destinam-se a avaliar a variação de impacte ambiental em função de requisitos de comportamento estrutural. Refira-se ainda que que a membrana impermeável não foi considerada para os cálculos dos critérios de desempenho, pela sua reduzida espessura e por não ter relevância nos resultados finais.

Ainda relativamente às soluções construtivas do grupo A, foram considerados dois tipos de revestimento interior para as paredes, uma das soluções prevê o revestimento interior em gesso cartonado, com 13mm de espessura, fixo a uma placa de *OSB* ou contraplacado com a colocação de uma membrana de proteção entre ambos os materiais. A outra solução, prevê o acabamento com ripado de madeira, com 20 mm de espessura, suportado por uma estrutura com ripas verticais também de madeira, com secção 20x20mm, com afastamento constante a eixo de 600mm.

As soluções construtivas que pertencem ao grupo B, são constituídas pelo revestimento exterior em ripado de madeira horizontal e vertical que faz o seu suporte. Nestas soluções, são retiradas a placa de *OSB* ou contraplacado e a camada de isolamento térmico que, nas soluções do grupo A, aparecem imediatamente a seguir ao revestimento exterior, mantendo-se ainda uma das placas de suporte (*OSB* ou contraplacado). Sendo esta a única alteração feita entre as soluções do grupo A, para as soluções apresentadas pertencentes ao grupo B, toda a restante estrutura mantém-se igual com as respetivas variações de materialidade entre os desenhos construtivos analisados (figura 2).

Soluções construtivas (A)

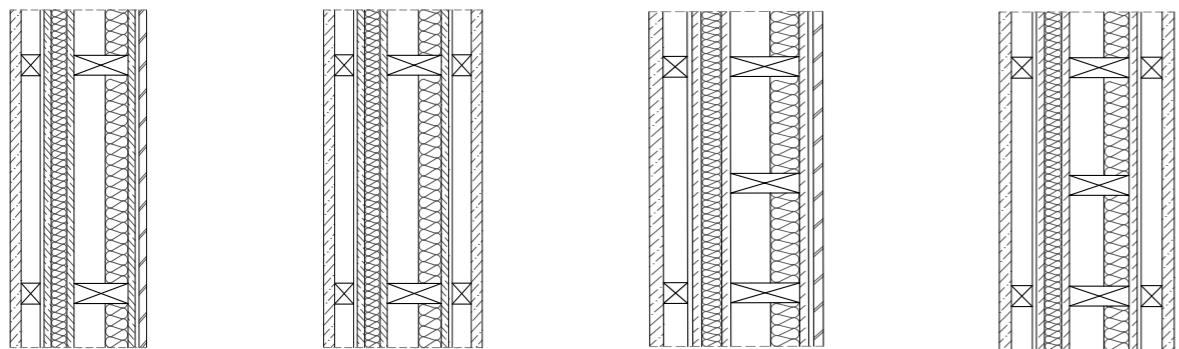


Figura 1: Esquema-base das soluções construtivas analisadas.

- Ripado horizontal de madeira
- Primos verticais de madeira
- Osb/contraplacado
- Isolamentos
- Gesso cartonado

Soluções construtivas (B)

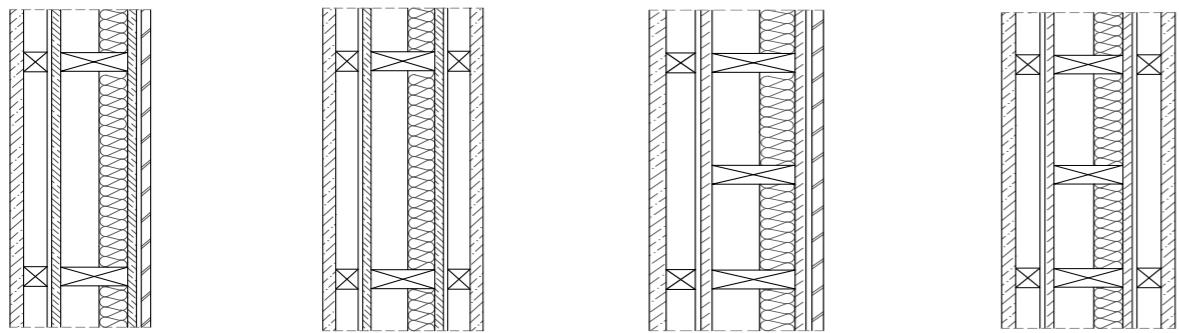


Figura 2: Esquema-base das soluções construtivas analisadas.

3.1.1 Critérios de desempenho

A forma como os materiais, e respectivas soluções construtivas que são utilizados na construção, podem afetar, quer o meio ambiente em que vivemos, quer a qualidade do ambiente dos espaços interiores em que habitamos, podem-se classificar em dois critérios de desempenho dessas mesmas soluções. Tratam-se de critérios de desempenho ambiental e funcional, respetivamente, e são estes os elementos que, neste estudo, caracterizam o tipo de comportamento associado a uma respetiva solução de parede exterior.

Quanto ao critério que traduz o desempenho ambiental das soluções, os dois parâmetros que indicam os níveis de impacte ambiental causados pelos materiais são, o carbono incorporado e a energia incorporada. Atendendo ao fato de o carbono incorporado nos materiais estar diretamente relacionado com a energia necessária para o processamento, transformação e transporte dos diversos materiais, ou seja, o primeiro parâmetro surge em consequência do segundo, apenas se considerou analisar os níveis de carbono incorporado nas soluções construtivas. O carbono que está associado aos materiais de construção tem origem não só, na energia requerida que é, em processos industriais, maioritariamente proveniente de combustíveis fósseis, bem como, é o resultado de todos os outros processos acima referidos por que passam os materiais, originando a sua libertação para a atmosfera (Hammond & Jones, 2008). Por outro lado, deve ainda considerar-se que são os gases com efeito de estufa que implicam um impacte direto no meio ambiente.

O indicador ambiental considerado, carbono incorporado superficial ($EC_s = \text{kgCO}_{2e}/\text{m}^2$), define-se então, pela quantidade de dióxido de carbono, bem como de outros gases com efeito de estufa, associados a cada unidade de área de parede, que são libertados para a atmosfera sendo responsáveis pelas alterações climáticas ou provocando aquecimento global. As emissões dos poluentes são consideradas num intervalo *cradle-to-gate*, ou seja, desde a extração da matéria-prima até ao produto finalizado preparado para o transporte para o local de construção.

3.1.2 Processos de cálculo

Para representar o desempenho funcional das soluções construtivas, recorreu-se aos critérios de eficiência energética e inércia térmica. O conforto térmico que é pretendido e necessário, no interior dos espaços de uma habitação ou outro, devem ser assegurados por estes dois critérios, nomeadamente pelos valores indicativos que cada critério atribui à solução construtiva. Portanto, as soluções encontradas para cada tipo de fachada devem garantir a minimização de perdas de calor e reduzir a variabilidade da temperatura interior.

A eficiência energética das paredes, é expressa pelo coeficiente de transmissão térmica ($U = W/m^2 \cdot ^\circ C$), que se refere à capacidade que determinada solução construtiva tem, para transmitir calor em regime permanente de forma unidirecional. A transferência de calor é medida por unidade de área (m^2), que atravessa uma espessura (m) de um qualquer material (Pina dos Santos e Matias, 2006). Para serem alcançadas temperaturas confortáveis dos espaços interiores, é aconselhável que as soluções construtivas mantenham coeficientes de transmissão térmica mais baixos para se evitar a transferência de calor entre ambientes.

A inércia térmica, é a capacidade que uma solução construtiva tem para armazenar calor para o libertar mais tarde, de tal forma que essa mesma característica depende da massa térmica superficial útil ($M_{tsu} = J/m^2 \cdot ^\circ C$) de cada um dos materiais que compõem a parede. A inércia térmica resulta como um fator atenuante das variações de temperatura nos espaços interiores. Genericamente, é preferível optar por soluções com elevada inércia térmica, para reduzir a variação de temperatura no interior e obter melhor conforto térmico. Estes resultados sentir-se-ão no Inverno, mas especialmente no Verão (Veludo & Rato, 2017).

Os indicadores ambientais e funcionais referidos no capítulo anterior, foram calculados para cada uma das 144 soluções construtivas em análise, com recurso a uma metodologia de análise simplificada, uma vez que, são definidos poucos parâmetros de avaliação para cada indicador. Assim sendo, o indicador ambiental (EC), é obtido através da agregação dos valores individuais normalizados, referentes à pegada do carbono. Os indicadores funcionais (U, Mtsu) são obtidos através da agregação dos valores individuais normalizados, respetivamente, do coeficiente de transmissão térmica (U) e massa térmica superficial útil (Mtsu). Uma vez encontrados os valores individuais, são depois integrados num índice de ponderação final, para uma melhor compreensão dos resultados obtidos. De referir que, o fato de se poder fazer a agregação dos resultados, permite a variação de importância relativa atribuída a cada tipo de desempenho. Esta variação permitirá fornecer um critério de seleção pessoal, para que seja possível adaptar os resultados a vários cenários de projeto (Veludo & Rato, 2017).

Todos os valores foram calculados e fornecidos para uma unidade de massa do material (kg), bem como, para uma unidade de superfície de parede exterior (m^2).

Todos os valores necessários para calcular os índices de impacte ambiental ou desempenho térmico das soluções construtivas, foram retirados de uma base de dados, que conta com mais de 200 materiais de construção na sua listagem, criada na Universidade de Bath por Geoffrey Hammond e Craig Jones.

No entanto, quando não era possível obter os valores pretendidos na mesma base de dados, recorreu-se a outras fontes onde fosse possível obter os valores em falta. No caso do XPS e do OSB, os valores correspondentes à sua densidade e condutibilidade térmica foram obtidos através da base de dados do LNEC_ITE_50 (Pina dos Santos & Matias, 2006). O valor referente ao calor específico do XPS, foi obtido através da base de dados apresentada por F. Javier Neila Gonzalez (Neila Gonzalez, 2004).

[1] Para se obter o carbono incorporado, EC [kgCO_{2e}/m²], é necessário recorrer à equação:

$$EC_s = \sum_i (M_{si} \cdot EC_i)$$

EC_i: Carbono incorporado equivalente por unidade de massa na camada i [kgCO_{2e}/kg];

Massa superficial M_s [kg/m²], é calculada pela equação:

$$M_s = e \cdot \rho$$

e : Espessura (m);

ρ : Densidade [kg/m³]

[2] O coeficiente de transmissão térmica, U [W/m².K], é obtido através da equação:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$

R_{si}: Resistência térmica superficial interior [m².K/W];

e_i: Espessura da camada i [m];

λ_i : Condutibilidade térmica da camada i [W/m.K];

R_{se}: Resistência térmica superficial exterior [m².K/W].

[3] A massa térmica superficial útil, M_{tsu} [J/m².K], é obtida através da equação:

C_{Ts}: Constante térmica superficial do elemento construtivo [s];

R_T: Resistência térmica total do elemento construtivo [m².K/W].

A constante térmica superficial do elemento construtivo C_T, de um elemento construtivo com n camadas, é determinada através da equação:

$$C_T = \left(R_{se} + \frac{R_1}{2} \right) \cdot M_{ts1} + \sum_{i=2}^n \left[\left(R_{se} + \sum_{j=1}^{i-1} R_j + \frac{R_i}{2} \right) \cdot M_{tsi} \right]$$

R₁: Resistência térmica da camada 1 [m².K/W], a camada mais exterior;

R_{se}: Resistência térmica superficial exterior [m².K/W];

M_{ts1}: Massa térmica superficial da camada 1 [J/m².K];

R_j: Resistência térmica da camada j [m².K/W], localizada entre a camada 1 e a camada i;

R_i: Resistência térmica da camada i [m².K/W];

M_{tsi}: Massa térmica superficial da camada i [J/m².K].

A massa térmica superficial M_{ts} [J/m²K], é obtida pela equação:

$$M_{ts} = M_s \cdot c$$

c : Calor específico [J/kg.k]

3.2 Análise multicritério de soluções construtivas

Numa primeira abordagem às 144 soluções construtivas selecionadas para este estudo, procede-se à construção do modelo recorrendo à ferramenta computacional de apoio M-Macbeth, sem cenários de projeto alternativos. No entanto, os níveis de referência atribuídos a cada critério, estão definidos para a possibilidade de haver termo de comparação, entre as diferentes soluções construtivas num universo mais abrangente de opções, nomeadamente, entre soluções pesadas e leves. Nesta primeira fase, o processo iniciar-se-á com a atribuição das mesmas ponderações (33,3%) aos critérios de carbono incorporado, eficiência energética e inércia térmica (Figura 3 e 4).

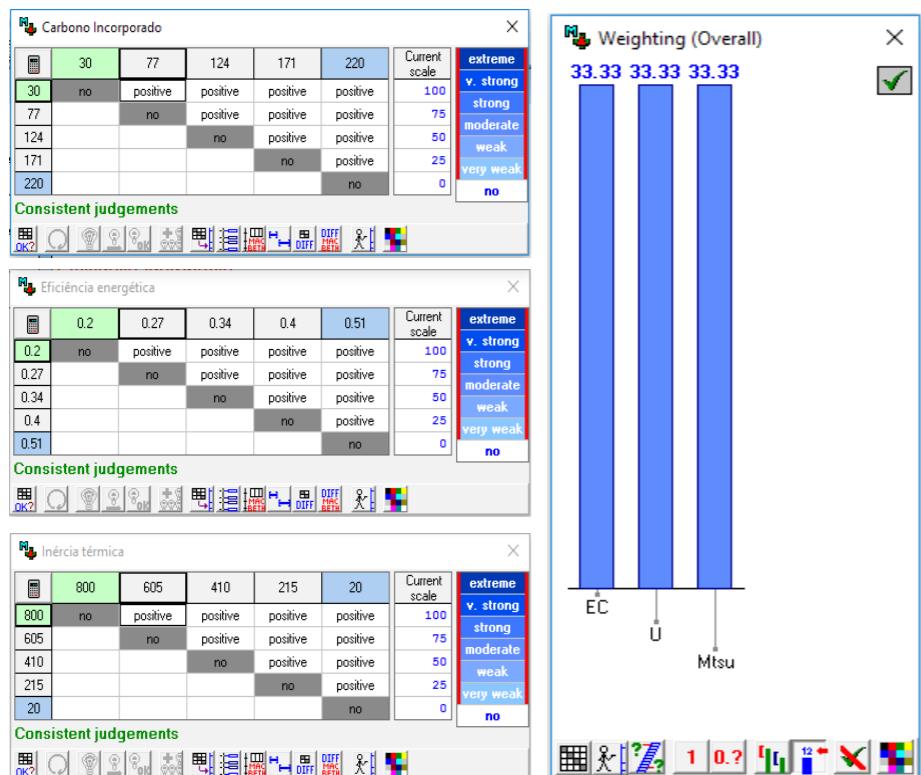


Figura 3 e 4: Matriz de julgamento dos critérios e escala de ponderação (33,3%)

A segunda situação, prevê uma maior preocupação com o impacte ambiental que possa ser causado pelas soluções construtivas, preferindo assim as soluções e, consequentemente, os materiais com menores indicadores de carbono incorporado. Como tal, é necessário recorrer ao software M-Macbeth e proceder à alteração das ponderações atribuídas aos critérios de desempenho. Ao critério do carbono incorporado (EC), é atribuída a ponderação de 75%, ao critério da eficiência energética é atribuída uma ponderação de 12,5% e à inércia térmica os mesmos 12,5%. Evidentemente, com este cenário um pouco mais ambientalista, os sistemas construtivos com um reduzido valor de carbono incorporado serão favorecidos, contudo, os critérios de eficiência energética e inércia térmica, também têm alguma importância relativa (Figura 5 e 6).

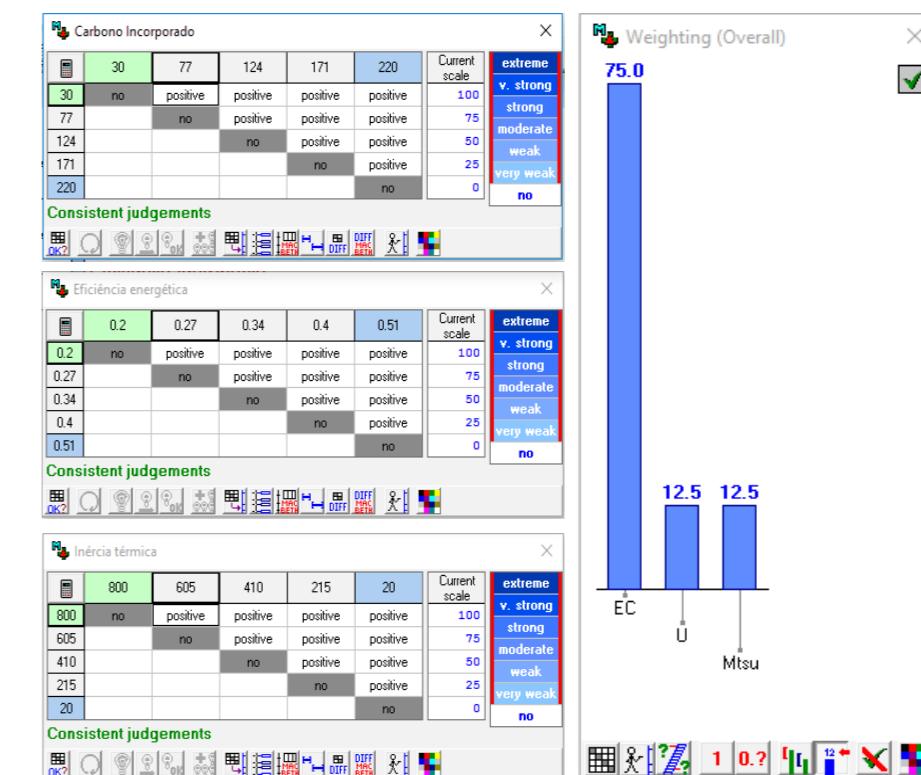


Figura 5 e 6: Matriz de julgamento dos critérios e escala de ponderação (EC 75%)

3.2.1 Resultados preliminares

Uma vez construído o modelo M-Macbeth com a atribuição das respetivas ponderações mencionadas anteriormente, aos critérios de desempenho, proceder-se-á à apresentação dos resultados obtidos para as soluções construtivas em questão e, de seguida à sua análise e discussão.

Nesta fase, sempre que for pertinente, serão apresentadas listas ou gráficos referentes às 144 soluções analisadas e respetivos valores obtidos através da aplicação do modelo de análise multicritério. Uma vez que, não estão a ser considerados quaisquer tipos de clima, as soluções serão analisadas e comparadas no conjunto total, mas também individualmente pelos materiais que as compõem e respetivas pontuações. Posteriormente, conforme a análise assim o indique, serão selecionados grupos de opções relevantes e pertinentes para o estudo comparativo e apresentados os respetivos gráficos.

Esta é uma etapa que servirá, essencialmente, para dar algumas pistas do que poderá acontecer quando a análise evoluir para a fase em que são considerados cenários de projeto com base no clima e se, realmente, acontecem muitas alterações nas preferências das soluções quando se lida com diferentes climas.

A cada tabela que é apresentada com a listagem das soluções construtivas, referentes a cada análise, surgem os respetivos valores de cada um dos critérios de desempenho, bem como, a sua ponderação geral. Todos os valores são apresentados numa escala de 0 a 100, resultado da aplicação do modelo de análise multicritério. Os gráficos que serão apresentados, permitem mais facilmente fazer uma comparação entre o desempenho dos diferentes critérios e perceber o comportamento das diferentes soluções, sendo considerada a mesma escala de 0 a 100.

ndente às pontuações atribuídas às paredes leves, de acordo com os critérios de desempenho.

, e com os valores obtidos nos indicadores ambientais pontue extraordinariamente bem. No entanto, o grupo B. As soluções do grupo A, que se distinguem pelo topo da tabela geral, por pontuarem melhor (U). No entanto, se forem analisados individualmente, são as soluções do grupo B, que possuem menor impacto ambiental, ou seja, os seus valores de carbono incorporado, ou seja, 30kgCO₂e/m², embora a diferença entre as

98	96	88	92	88	89	89	96	95	95	95	95	87	95	89	93	8
25	38	86	61	86	79	79	33	46	46	38	38	86	42	79	54	7
2	5	5	4	5	2	2	5	2	2	6	6	5	1	3	5	1

A4LO89	61																
A1XO114	14																
A2XC140	36																
B4LC140	138																
B4LO114	134																
A4LO140	63																
B2XC114	107																
A4LO114	62																
B4LO89	133																
B3XC89	124																
B4CO140	129																
A1XO140	15																
A3XC89	52																
A2XC140	33																
B2YC114	27																
3	5	2	3	3	4	1	4	2	4	4	4	5	5	2	2	2	2

Atribuindo maior ponderação ao desempenho ambiental, verifica-se que as soluções dos dois grupos se vão intercalando, ou seja, ao contrário do que acontece na tabela anterior, onde havia uma clara separação entre paredes com uma camada de isolamento ou duas, com esta ponderação, verifica-se que são os diferentes materiais utilizados para isolamento, que contribuem para esta alteração na ordenação das opções. No entanto, ao observar as vinte primeiras soluções da tabela, é possível verificar a predominância das soluções do grupo A que, embora sejam as soluções com mais materiais na sua composição e, deste modo, maiores níveis de carbono incorporado, o que poderia comprometer as suas pontuações globais, têm classificações mais altas ao nível do critério de coeficiente de transmissão térmica (U) pelo mesmo fato de terem maior capacidade de isolamento, perfazendo assim, uma pontuação global mais alta do que as soluções do grupo B. Ainda relativamente às vinte primeiras soluções, as que pertencem ao grupo A, variam entre A1 e A2, com afastamento entre prumos de 600mm. As soluções que na sua descrição se iniciam por A2, distinguem-se das A1 por terem o revestimento interior em gesso, fator este, que faz com que as mesmas pontuem menos no critério de coeficiente de transmissão térmica (U), embora um pouco melhor no critério ambiental, em relação às soluções que têm o revestimento interior em madeira, com maior capacidade de isolamento térmico.

Com este cenário, é visível a distinção entre as paredes que integram o XPS como material de isolamento. O fato de ser dada maior preocupação ao critério de desempenho ambiental, ou seja, a quantidade de carbono incorporado nos diversos materiais, faz com que, tanto as soluções do grupo A, como as soluções do grupo B que contenham este material, obtenham classificações mais baixas, mesmo que, em algumas situações estejam melhor classificadas, individualmente, no critério da eficiência energética (U). O mesmo acontece com as soluções com a lã de rocha, que tem melhores indicadores de carbono incorporado, no entanto, é um material que tem maior capacidade de isolamento térmico do que o XPS. Dentro das variações propostas para o tipo de isolamento a integrar nas paredes em estudo, XPS, aglomerado negro de cortiça, ou lã de rocha, é possível concluir que, o aglomerado negro de cortiça é o material com melhores indicadores quanto ao nível ambiental. Entre as camadas de suporte, OSB e contraplacado, é melhor ambientalmente optar pelo contraplacado, como se pode observar com as soluções: A1CC89 e A1CO89; A2CC114 e A2CO114 (tabela 2). O contraplacado tem um desempenho ambiental um pouco melhor do que o OSB, porque tem menor massa superficial.

Um dado interessante que esta tabela sugere, é a proximidade nas pontuações gerais e individuais dos critérios de desempenho, entre soluções onde apenas são alteradas as dimensões dos prumos de madeira. Isto levanta assim, a questão sobre o real contributo para este estudo, da continuidade da análise de soluções construtivas onde se assumem três variações nas dimensões dos mesmos. Esta é uma questão que será abor-

dada com maior pormenor com o desenvolver deste trabalho.

Além das várias soluções de paredes do grupo B que se apresentam no “top 20”, são também visíveis nestas dentro destas 20 opções, quatro soluções pertencentes ao grupo B (B1CC114; B1CC140; B1CO140 e B1CO89) e que são soluções de paredes leves que contém apenas uma camada de isolamento, integradas com soluções do grupo A. Isto acontece, devido à elevada pontuação que recebem relativamente ao critério ambiental. Posto isto, tanto as soluções do grupo A, como as referidas anteriormente do grupo B, apresentam pontuações globais quase idênticas, o que torna mais difícil perceber se, se deve optar por paredes com apenas uma camada de isolamento ou duas para correção das pontes térmicas, tendo em conta as ordenações obtidas com estas ponderações.

Utilizando como exemplo as opções A1CC114 e B1CC114, recorre-se ao quadro de análise de sensibilidade, relativo ao critério de carbono incorporado (EC), a fim de se perceber o que acontece alterando a ponderação atribuída ao critério. Neste momento, com a ponderação de 75% ao EC, a solução A1CC114, é melhor do que a solução B1CC114 (Figura 7). No entanto, a situação pode-se inverter se, se considerar aumentar a ponderação do EC para um valor igual ou superior a, aproximadamente, 83%. (Figura 8 e 9).

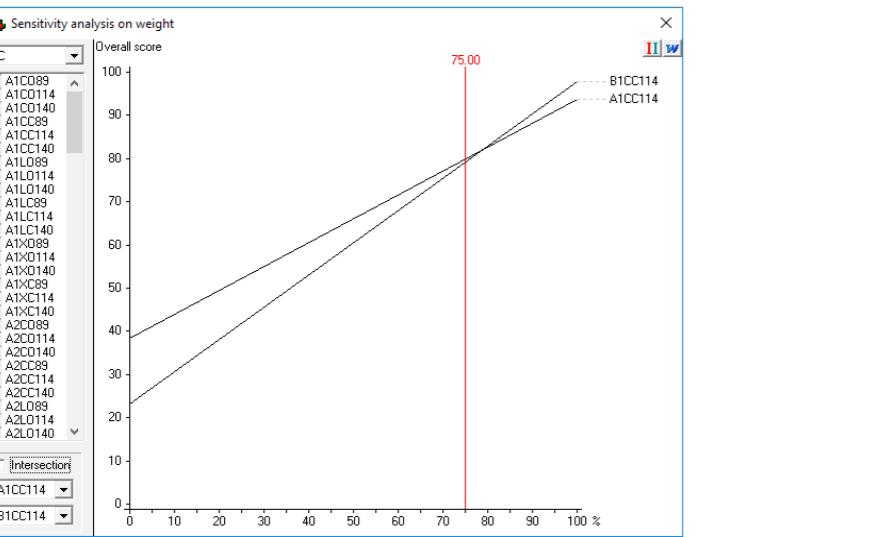


Figura 7: Gráfico de análise de sensibilidade relativo ao critério EC (75%)

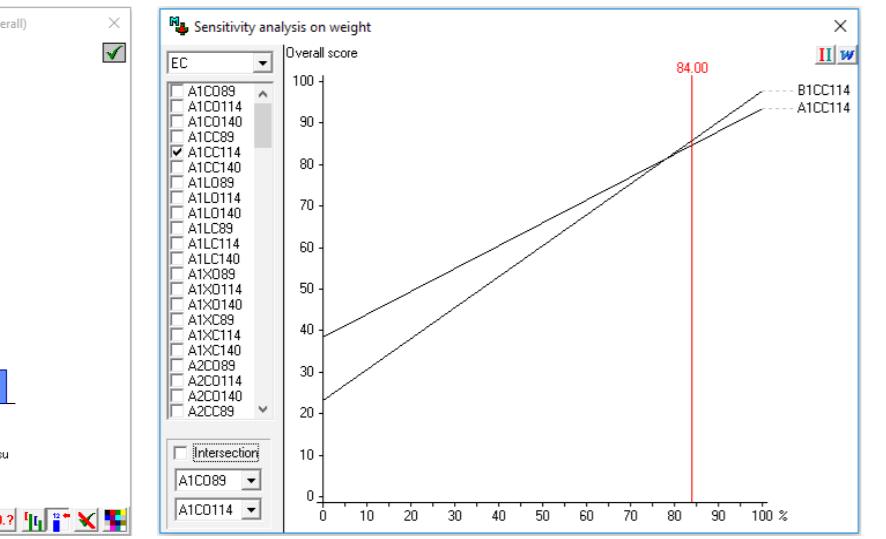


Figura 8 e 9: Escala de ponderação dos critérios de desempenho e gráfico de análise de sensibilidade relativo ao critério EC (84%).

		EC: 84% U: 8% M _{tsu} : 8%												
		Pontuação global												
Indicador ambiental		EC	98	98	99	97	95	99	94	97	99	98	B1CC114	77
Indicador funcional	U	42	38	23	42	64	64	25	25	71	38	23	B1CC114	91
M _{tsu}	4	4	2	5	3	3	2	2	5	5	2	5	B1CC114	75
													A2CC140	24
													B2CC140	93
													B3CC140	92
													B4CC140	5
													B1CC114	74
													A1CC114	20
													A2CC140	19
													A3CC140	100
													A4CC140	6
													B1CC114	130
													B2CC140	130
													B3CC140	112
													B4CC140	113
													B1CC114	131
													B2CC140	102
													B3CC140	82
													B4CC140	21
													B1CC140	6
													B2CC140	1
													B3CC140	100
													B4CC140	100
													B1CC114	83
													B2CC140	82
													B3CC140	82
													B4CC140	130
													B1CC114	130
													B2CC140	130
													B3CC140	112
													B4CC140	112
													B1CC114	113
													B2CC140	113
													B3CC140	58
													B4CC140	58
													B1CC114	131
													B2CC140	102
													B3CC140	82
													B4CC140	21
													B1CC140	6
													B2CC140	1
													B3CC140	100
													B4CC140	100
													B1CC114	131
													B2CC140	131
													B3CC140	112
													B4CC140	112
													B1CC114	113
													B2CC140	113
													B3CC140	58
													B4CC140	58
													B1CC114	131
													B2CC140	102
													B3CC140	82
													B4CC140	21
													B1CC140	6
													B2CC140	1
													B3CC140	100
													B4CC140	100
													B1CC114	131
													B2CC140	131
													B3CC140	112
													B4CC140	112
													B1CC114	113
													B2CC140	113
													B3CC140	58
													B4CC140	58
													B1CC114	131
													B2CC140	102
													B3CC140	82
													B4CC140	21
													B1CC140	6
													B2CC140	1
													B3CC140	100
													B4CC140	100
													B1CC114	131
													B2CC140	131
													B3CC140	112
													B4CC140	112
													B1CC114	113
													B2CC140	113
													B3CC140	58
													B4CC140	58
													B1CC114	131
													B2CC140	102
													B3CC140	82
		</												

Como se pode observar através da escala de ponderação e do gráfico de análise de sensibilidade referente ao critério de desempenho de carbono incorporado (EC), atribuindo uma ponderação de 84% a este critério, a solução B1CC114 recebe maior pontuação final ponderada do que a opção A1CC114, pela alteração de ponderação atribuída ao critério. Embora a opção B1CC114, tivesse melhores indicadores ambientais, mesmo com a ponderação anterior de 75%, o facto de ter menor capacidade de isolamento térmico, implica uma menor pontuação individual no critério da eficiência energética e, deste modo, pior classificação global ponderada. Agora, com esta ponderação mais extrema, onde a importância recai praticamente toda sobre o critério ambiental, é esta pontuação que faz com que a opção com apenas uma camada de isolamento passe a ser preferida. Aqui está a ser considerado um cenário extremamente ambientalista e ainda muito mais seletivo no quadro das 144 soluções disponíveis. Porém, o fato de os valores obtidos para o critério de eficiência energética (U), estarem muito próximos quer da referência superior ($0,51\text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), quer da referência inferior ($0,20\text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), faz com que se explore maiores variações no indicador ambiental.

É sugerido através desta ordenação, optar-se pela utilização de paredes leves exteriores com apenas uma camada de isolamento. Estão bem classificadas, tanto as soluções com o revestimento interior em madeira, tanto com o revestimento interior em gesso, embora as paredes com o revestimento interior em gesso, possuam valores um pouco mais baixos relativamente ao critério de eficiência energética. No entanto, apesar da proximidade entre ambas as soluções no indicador ambiental, estes dois tipos de revestimento serão mantidos no estudo, uma vez que também têm grandes implicações no projeto de arquitetura.

Pelas soluções que são apresentadas no “top 20”, confirma-se a preferência pela utilização do aglomerado negro de cortiça, como material de isolamento, assim como, a utilização do contraplacado nas camadas intermédias de suporte. Curiosamente, embora no topo da tabela, esteja ordenado um maior número de soluções com uma camada de isolamento, também surgem algumas soluções com duplo isolamento bem posicionadas. Nestas situações, os valores de carbono incorporado fazem descer as suas pontuações neste critério pelo facto de possuírem mais material, ainda assim, o facto de serem soluções que integram o aglomerado negro de cortiça atenua essa diferença, no entanto, é pelos seus valores individuais de eficiência energética (U), que estas soluções aparecem integradas no “top 20”.

Um dado que esta tabela sugere, através da análise dos valores obtidos entre soluções muito semelhantes na sua constituição, é o fato de se poder retirar desta fase de análise as opções que apenas diferem entre

si pelas dimensões dos prumos de madeira. Pelo que se pode observar no gráfico exibido, foram selecionadas oito opções, entre as vinte primeiras opções referidas anteriormente, e onde se pode verificar que as soluções onde apenas varia a dimensão da secção dos prumos de madeira, comparando as medidas mínimas e máximas consideradas, têm as pontuações praticamente iguais, quando as dimensões dos prumos não são as mesmas e se esperava que tivesse maior influência, pelo menos no critério ambiental (Figura 10).

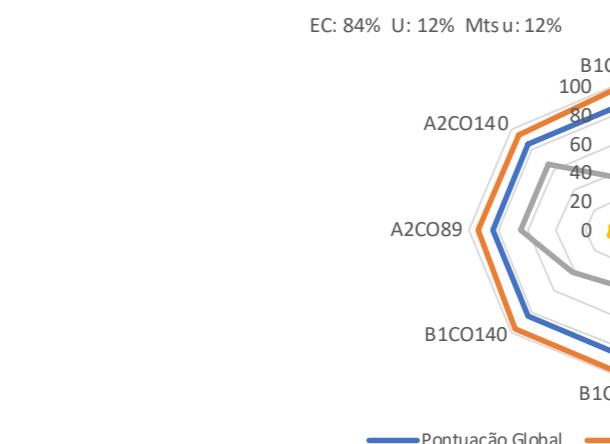


Figura 10 : Gráfico correspondente ás oito opções com pontuações individuais e globais idênticas.

Como se tem vindo a verificar nas análises realizadas até agora, tudo indica que existem algumas soluções que podem ser dispensadas da análise, pelo menos nesta fase onde não há cenários de projeto envolvidos nos processos de cálculo. Todavia, será necessário confirmar se, o fato de haver soluções com afastamentos a eixo dos prumos de madeira a 300 mm ou 600mm, condiciona ou não, os resultados e as preferências nas opções em cada situação. Além do afastamento dos prumos, a variação das dimensões dos mesmos, será novamente um dado abordado, uma vez que este tipo de análise permite, também, retirar outro tipo de conclusões acerca das soluções e dos materiais que as constituem. Para apurar a veracidade destas suspeitas, recorre-se à construção dos gráficos apresentados de seguida, onde se põe em evidência as opções A1 e A3 e B1 e B3, com afastamento entre prumos de 600mm e 300mm, respetivamente, de modo a confirmar a pertinência, ou não, de todas estas opções para a obtenção dos resultados pretendidos.

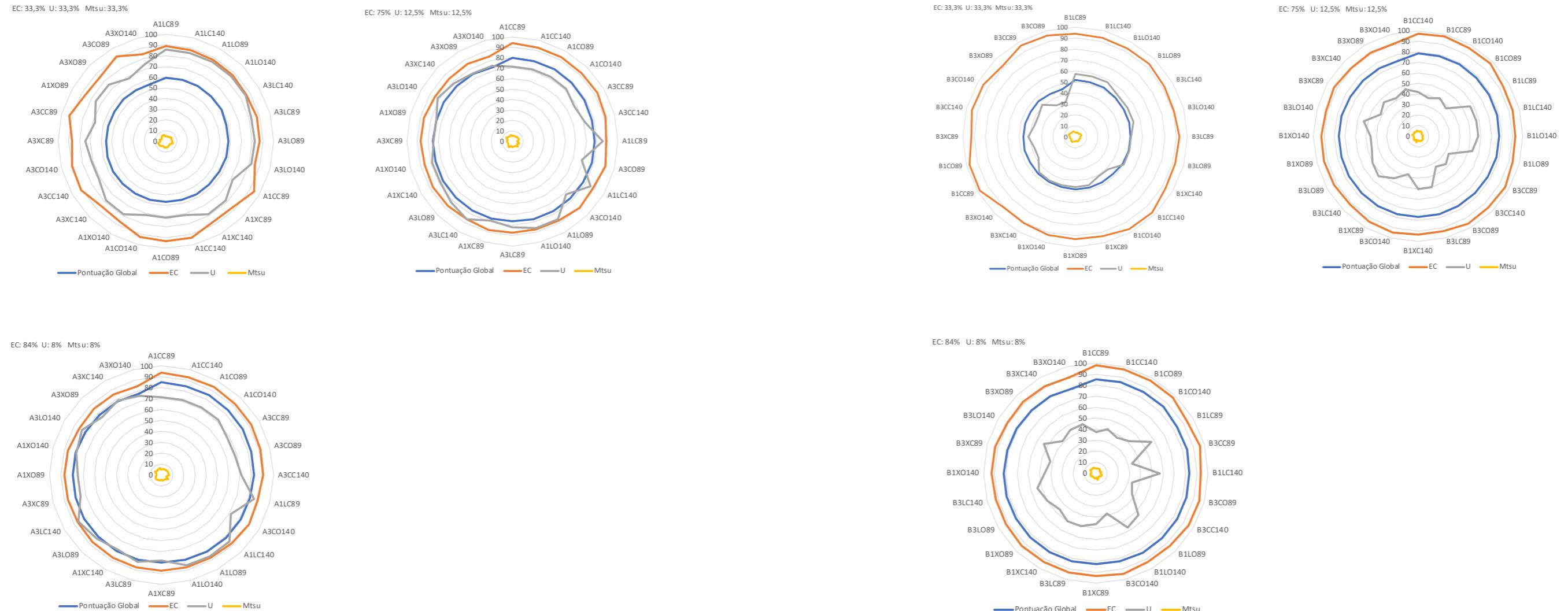


Figura 11,12 e 13: Gráficos com os dados relativos às opções A1 e A3 e respectivas ponderações dos critérios.

Figura 14,15 e 16 Gráficos com os dados relativos às opções B1 e B3 e respetivas ponderações dos critérios.

Os gráficos acima representados, com as soluções A1 e A3 e B1 e B3, ajudam a perceber se, de fato, os dois afastamentos considerados entre prumos, têm algum impacte considerado nas pontuações de cada critério e, consequentemente, no desempenho das soluções. Relativamente às figuras 9, 10 e 11, é possível observar uma característica transversal às três, que é o fato de não haver uma separação evidente entre as soluções A1 (com afastamento entre prumos de 600mm) e A3 (com afastamento entre prumos de 300mm), sendo as pontuações globais nos três casos muito constante, assim como o desempenho ambiental de todas as opções. Mesmo quando o critério ambiental se torna mais seletivo, não acontece uma grande variação entre soluções com os prumos afastados a 300 mm ou a 600 mm. O que se verifica nestes gráficos é a tendência para serem os materiais de isolamento, mais uma vez, os responsáveis pelas variações nos comportamentos das opções. Estas conclusões são transversais às soluções A1 e A3 e B1 e B3.

Quando são comparadas as soluções A1 e A3, nos gráficos onde são atribuídas maiores ponderação ao critério ambiental (75% e 84%), verifica-se uma vez mais que as soluções que utilizam o aglomerado negro de cortiça, são consideradas melhores soluções para o ambiente, em relação aos outros dois materiais. No entanto, em ambos os gráficos (figuras 10 e 11), as soluções 10 (A1LC89) e 12 (A1LC140) apresentam picos no critério da eficiência energética, pelas características da lã de rocha, igualando soluções com aglomerado negro de cortiça na pontuação global. Isto acontece porque, os seus indicadores funcionais de coeficiente de transmissão térmica (U) são mais elevados, pelas características da lã de rocha.

Soluções que utilizem o XPS, bem como as que utilizem a lã de rocha como isolamento térmico, são mais prejudicadas ambientalmente, em comparação às opções que contenham o aglomerado negro de cortiça.

Relativamente aos gráficos onde estão representadas as soluções B1 e B3, é também perceptível que, não é o fato de estarem a ser considerados dois tipos de afastamento para os prumos, que compromete o melhor ou pior desempenho das paredes. Soluções iguais, mas com apenas diferenças nas dimensões dos prumos, apresentam resultados idênticos. À semelhança do que acontece com as opções anteriores com duas camadas de isolamento, confirma-se a mesma tendência para com o comportamento das paredes com diferentes isolamentos. No gráfico da figura 14, onde é atribuída uma ponderação de 84% ao critério ambiental, as soluções que contêm a cortiça são preferidas ambientalmente relativamente às restantes, porém, à semelhança do que acontece com as soluções com mais material de isolamento, existem quatro opções (B1LC89, B1LC140, B1LO89 e B1LO140) com lã de rocha, que obtêm pontuações globais equiparadas a algumas opções com aglomerado negro de cortiça, pelo facto da lã de rocha conferir menor possibilidade de haver trocas de calor

entre ambientes interiores e exteriores, criando picos na linha da eficiência energética relativamente a essas opções. No entanto, o XPS continua como o material mais prejudicial ao ambiente.

Posto isto, uma vez que a intenção seria avaliar se, o fato de serem estipulados dois afastamentos para a estrutura principal das paredes, teria grande influência nos resultados e na escolha das soluções, numa próxima análise, serão retiradas as soluções com afastamento de 300 mm entre prumos e ficam apenas as soluções com afastamento de 600 mm, que é a medida mais comum neste tipo de construção e nestas situações.

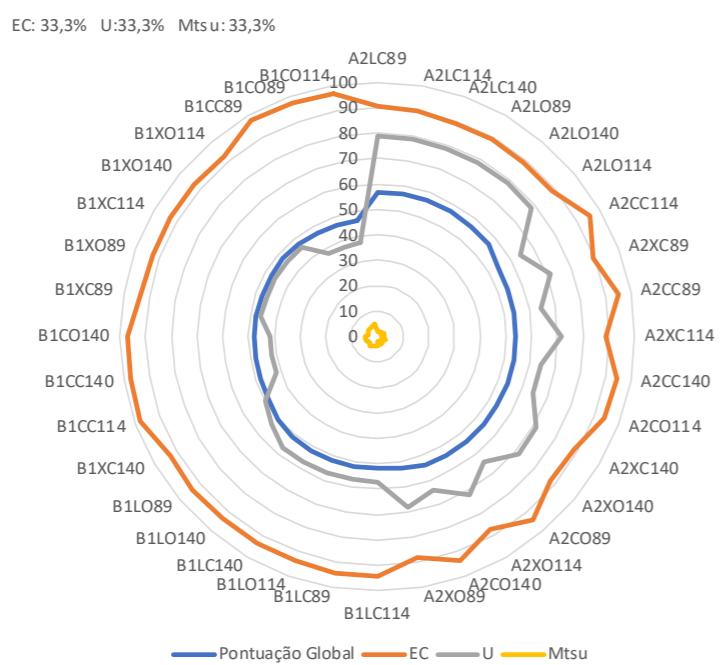


Figura 17: Gráfico correspondente às opções B1 e A2 e respetivos desempenhos, atribuindo igual importância aos três critérios de desempenho (33,3%).

Ao observar as opções A2 (soluções com duas camadas de isolamento e o revestimento interior em gesso cartonado) e B1 (soluções com apenas uma camada de isolamento e o revestimento interior com ripado horizontal de madeira), evidencia-se mais uma vez, a semelhança de resultados entre as opções com as diferentes dimensões dos prumos, sugerindo e comprovando assim, desde já, o fato destas três variações consideradas inicialmente, não terem o impacte esperado nos resultados.

Como se tem vindo a verificar até agora, em todas as análises onde são postas sobre comparação soluções com duas camadas de isolamento e apenas uma, com as ponderações atribuídas aos critérios a valer o mesmo, dadas as circunstâncias já referidas, verifica-se sempre uma preferência pelas soluções com mais isolamento.

Isto acontece porque, são as que apresentam maior equilíbrio, entre as pontuações obtidas relativamente ao critério ambiental e ao critério funcional de coeficiente de transmissão térmica (U). O fato de terem maior quantidade de material na sua composição, prejudicando o impacte ambiental das mesmas, é contrabalançado pelo fato de terem melhor capacidade de isolamento térmico.

À semelhança do que acontece em outros casos e com estas ponderações, são as soluções com lã de rocha, que se destacam neste caso, por proporcionarem às paredes, uma maior capacidade de isolamento, enquanto que, todas as outras opções mantêm mais ou menos constante a pontuação global, consoante as características de cada uma. Consegue-se perceber neste gráfico que, o fato de uma solução obter melhor pontuação no carbono incorporado prejudica um pouco a eficiência energética da parede e vice-versa (Figura 17).

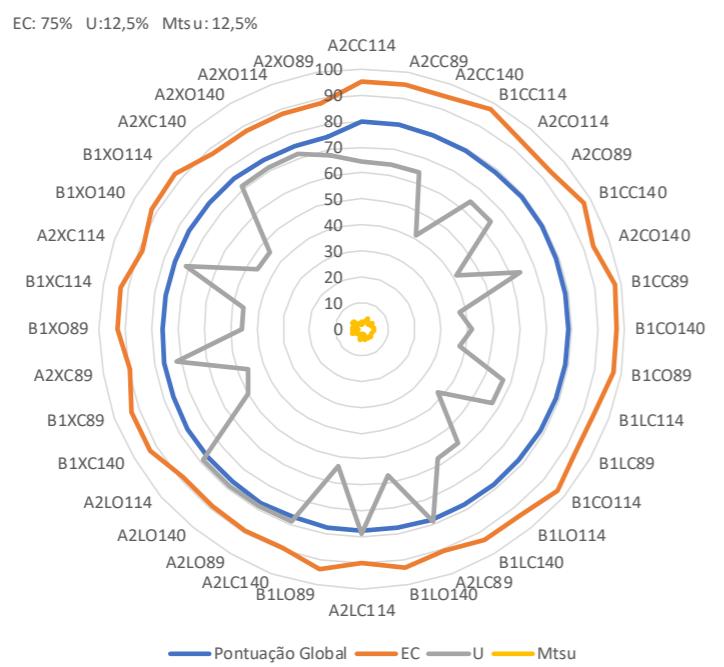


Figura 18: Gráfico correspondente às opções B1 e A2 e respectivos desempenhos dando maior importância (75%) ao critério de desempenho ambiental (EC).

Quando o cenário passa a demonstrar um pouco mais preocupação com o ambiente e com o contributo das soluções para o impacte ambiental, começam a surgir indicações de melhor comportamento para as soluções só com uma camada de isolamento. Porém, os 12,5% de importância atribuídos aos critérios de eficiência energética e massa térmica superficial útil, ainda revelam algum peso nas variações das opções, nomeadamente quando se observa a linha correspondente à eficiência energética das soluções com duas camadas de isolamento.

Por estarem sobre comparação, soluções com duplo isolamento e o revestimento interior em gesso (A2) e soluções com apenas uma camada de isolamento, mas com o revestimento interior em madeira (B2), atribuindo maior importância ao fator ambiental, era de esperar que quanto mais material na sua composição,

mais baixa fosse a ponderação geral destas opções, pelo fato de receberem menos pontuação neste critério. No entanto, como se pode verificar o mesmo não acontece e a linha relativa à ponderação geral apresenta-se bastante constante em comparação à linha atribuída ao coeficiente de transmissão térmica das soluções. Como se pode observar, são algumas das soluções com mais materialidade que melhor pontuam ao nível global. Isto acontece porque, as soluções que têm menor desempenho ambiental, embora essa diferença não seja muito grande para as opções com menos materiais, são as que obtêm melhor desempenho funcional e é essa diferença que contrabalança a ponderação geral. No entanto, as opções que estão melhor classificadas, integram o aglomerado negro de cortiça, quer seja com uma ou duas camadas, e a preocupação ambiental demonstrada neste cenário dirige para a utilização deste material como forma de otimizar ambientalmente as construções.

As opções 77 (B1CC114) e 78 (B1CC140), correspondendo ao grupo de paredes com menos isolamento, com aglomerado negro de cortiça e contraplacado, revelam ser também boas opções se, se considerar o seu desempenho ambiental. Ainda assim, é possível verificar que, as soluções 83 (B1LC114) e 82 (B1LC89), que são soluções construtivas de paredes com apenas uma camada de isolamento, mas que utilizam a lã de rocha, se posicionam equiparadas à solução 74 (B1CO114), que é uma opção que utiliza a cortiça, até agora considerado o material mais ecológico. Isto acontece porque, a diferença no coeficiente de transmissão térmica entre as opções 83 e 82 para a opção 74 é maior do que a diferença entre a pontuação de carbono incorporado, que aqui está com maior importância atribuída, sendo que as primeiras soluções têm maior capacidade de isolamento. A utilização de XPS como isolamento, contribui para o aumento do impacte ambiental causado por todas estas soluções, atribuindo pior classificação no critério ambiental, logo, fazendo baixar a sua pontuação global (Figura 18).

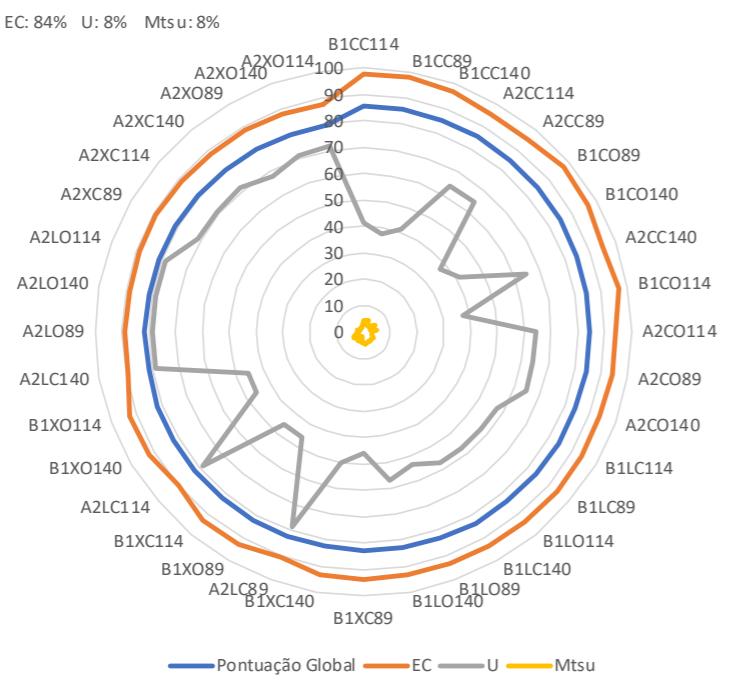


Figura 19: Gráfico correspondente às opções B1 e A2 e respetivos desempenhos atribuindo maior importância (84%) ao critério de desempenho ambiental.

Quando atribuída uma percentagem mais elevada (84%) ao fator ambiental, distinguem-se, em primeiro lugar, as opções com aglomerado negro de cortiça e contraplacado e, logo de seguida, as soluções com aglomerado negro de cortiça e OSB. Dando destaque para as soluções com maior pontuação global, resultam maioritariamente, opções pertencentes ao grupo das paredes com apenas uma camada de isolamento (B1CC114, B1CC89, B1CC140, B1CO89, B1CO140 e B1CO114), porém, há três opções (A2CC114, A2CC89 e A2CC140) que recebem pontuações altas neste caso. As soluções que se destacam entre as soluções com menos isolamento, obtêm valores de coeficiente de transmissão térmica entre os $36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e os $37 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (consultar tabela em anexo), e valores associados ao carbono incorporado entre os $34 \text{ kgCO}_{2e}/\text{m}^2$ e os $36 \text{ kgCO}_{2e}/\text{m}^2$ (consultar tabela em anexo). Estas soluções assumem assim, um bom comportamento funcional, aliado a uma carga ambiental relativamente baixa.

O posicionamento das três soluções A2 com aglomerado negro de cortiça e contraplacado, está associado ao facto de estas estarem favorecidas pelo bom comportamento ambiental do material que garante o isolamento térmico, em comparação com os outros dois materiais ponderados, e pelo fato de estas paredes oferecerem uma maior resistência térmica aos espaços interiores, uma vez que são utilizadas duas camadas de isolamento na sua constituição, fazendo aumentar a pontuação atribuída a este critério.

As grandes oscilações que se verificam relativamente ao critério da eficiência energética, como já foi referido anteriormente, referem-se ao fato de serem soluções com uma ou duas camadas de isolamento, não deixando de ter algum peso para o desempenho atribuído às soluções no entanto, dada a maior ponderação atribuída ao critério ambiental, é mais pela diferença do comportamento ambiental dos materiais de isolamento que é construído este gráfico.

Uma vez realizadas estas análises mais detalhadas, é possível perceber através dos resultados obtidos com estas soluções que, as soluções que apenas diferem entre si nas dimensões dos prumos entre os 89 mm, os 114 mm e os 140mm, não têm consequência na atribuição dos resultados em função dos critérios. É, mais uma vez, um dado transversal aos três gráficos apresentados, correspondentes a cada ponderação dos critérios, que os resultados que são obtidos entre as três variações de prumos, mantêm-se praticamente lineares em todos os casos ainda que seja sensato assumir uma ligeira variação, mas sem que isso comprometa os resultados. Portanto, é preferível manter nesta investigação, as soluções onde se assumem dimensões dos prumos de 140 mm por 38 mm, por ser a medida mais comum neste tipo de construção.

Após as conclusões retiradas com as análises efetuadas até ao momento, foi possível perceber que, das 144 soluções construtivas apresentadas inicialmente, podem ser retiradas as soluções com afastamento a eixo entre prumos de 300mm, ficando apenas as soluções com os prumos afastados entre si 600mm, e poderiam ser retiradas as soluções com as dimensões dos mesmos com 89mm e 114mm ficando apenas os de 140mm. Daí resulta a próxima etapa comparativa entre as soluções, recorrendo a apenas 24 soluções construtivas de paredes leves exteriores em madeira.

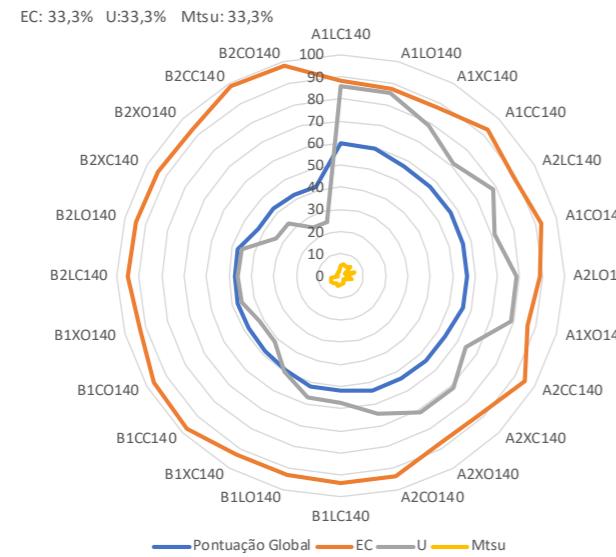


Figura 20: Gráfico com 24 opções e respectivos desempenhos, correspondente à atribuição de igual importância (33%) aos três critérios de desempenho.

No gráfico apresentado, sabendo previamente que se trata de uma situação onde não há preferências em qualquer critério de desempenho, a pontuação global é atribuída conforme o equilíbrio das pontuações individuais. Daí, resulta que as soluções com mais isolamento e neste caso, com lã de rocha ou XPS se destacam também pelo aumento que este material representa na eficiência energética das paredes. Apesar de serem soluções com mais carbono incorporado nos materiais, oferecem mais resistência térmica às paredes. Relativamente à eficiência energética, há uma clara discrepância entre as opções com duas camadas de isolamento ou só uma, refletindo-se assim nas pontuações globais das paredes. Em consonância com este cenário, as soluções melhor pontuadas são A1LC140 e A1LO140, pelos vários conjuntos de fatores mencionados anteriormente.

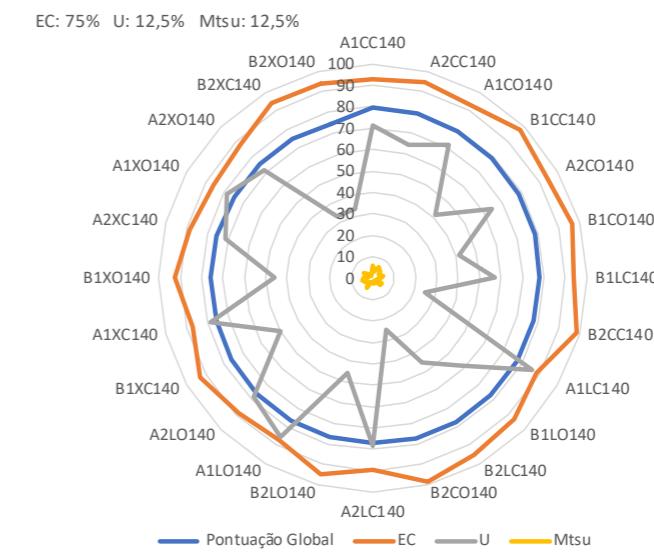


Figura 21: Gráfico com 24 opções e respectivos desempenhos, correspondente à atribuição de maior importância (75%) ao critério ambiental.

Atribuindo uma ponderação de 75% ao critério ambiental, verifica-se aqui, uma tendência anterior para que, ambas as soluções de paredes com mais ou menos isolamento, apresentem resultados globais bastante equilibrados entre si. No entanto, à parte de serem paredes com melhor ou pior indicador ambiental entre si por terem mais ou menos material, surgem com as pontuações globais mais elevadas, paredes com aglomerado negro de cortiça, mesmo que isso signifique perder na eficiência energética das construções. Ainda assim, das cinco melhores soluções deste gráfico, constam quatro soluções com duas camadas de isolamento e uma com apenas uma camada de isolamento (B1CC140), que já havia aparecido com bons indicadores em gráficos anteriores. No primeiro caso, aparecem bem pontuadas pela resistência térmica que oferecem, no segundo caso, pelos ótimos valores ambientais que apresenta e que, neste caso, está com maior importância atribuída.

Confirma-se através deste gráfico que, mantém-se a tendência geral para que as soluções que incluem o XPS, não sejam soluções ambientalmente favorecidas relativamente às outras alternativas, e para que o aglomerado negro de cortiça seja o material com menos carbono incorporado na sua composição favorecendo ambientalmente as construções que utilizem este material (Figura 21).

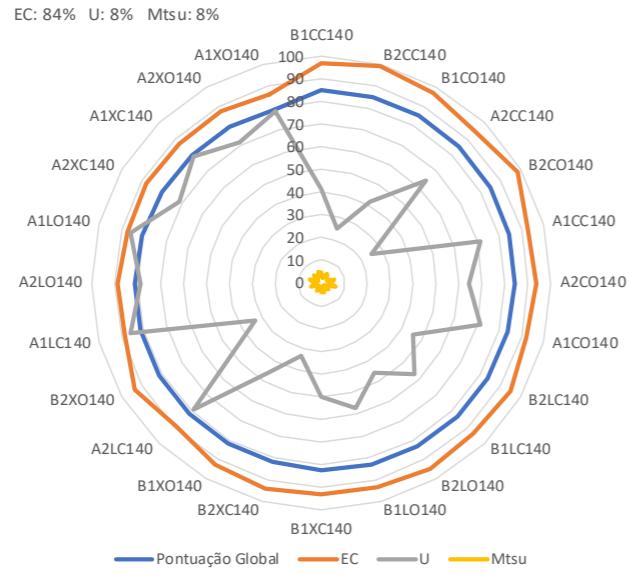


Figura 22: Gráfico com 24 opções e respectivos desempenhos, correspondentes à atribuição de maior importância (84%) ao critério ambiental.

Analizando as soluções num cenário com maiores preocupações ambientalistas, o que indicava o gráfico anterior, é confirmado por esta ponderação atribuída ao critério ambiental. A preferência para a escolha das soluções a adotar neste contexto, recai sobre as soluções com menos isolamento, sendo beneficiadas pela escolha do aglomerado negro de cortiça como material de isolamento. Estas primeiras quatro soluções, com apenas uma camada de isolamento, variando o revestimento interior em ripado horizontal de madeira ou gesso cartonado (B1CC140, B2CC140, B1CO140 e B2CO140), apresentam o melhor compromisso de desempenho ambiental em relação ao impacte ambiental que poderia ser causado pelas mesmas. Quanto ao desempenho de eficiência energética destas mesmas opções, variam entre os 0,36 W/m². K e 0,4 W/m². K (ver tabela em anexo), o que corresponde a valores aceitáveis para este critério, tendo em conta a escala de referência considerada e os valores regulamentados para a obtenção de um melhor conforto térmico dos espaços interiores. Neste gráfico é visível uma grande variação nos desempenhos energéticos destas soluções, no entanto, nesta situação não tem qualquer influência nas escolhas das soluções construtivas para este cenário, dada a sua baixa ponderação.

3.2.2 Discussão dos resultados

Esta análise preliminar, dos resultados obtidos e respetivas preferências das soluções construtivas, sugeridas pelo modelo de análise multicritério elaborado, revelou ser uma análise com resultados um pouco inesperados. O processo de análise iniciou-se com 144 soluções construtivas, respondendo às variações estipuladas entre revestimentos interiores, tipos de isolamento, afastamentos e dimensões dos prumos de madeira que fazem parte da estrutura principal da parede. Rapidamente se percebeu que, a análise deveria ser conduzida, não só no âmbito de se apurar quais as melhores soluções consoante as diferentes ponderações atribuídas aos critérios, mas que também deveria ser feita uma análise mais detalhada, atendendo aos diferentes materiais que compõem as soluções em estudo, e o quanto essas variações nos materiais contribuem realmente para o aumento de informação útil ou conduzem as preferências das soluções, pelo menos nesta fase preliminar onde não são considerados cenários de projeto.

Ao contrário do que se esperava, quando foram definidas as variações nas soluções construtivas, verificou-se que os afastamentos e as dimensões consideradas para os prumos de madeira, não têm influência nos resultados obtidos, nem na escolha da melhor solução, nestas condições de comparação. Mais se constatou ainda, que optar por utilizar revestimento interior das paredes em gesso cartonado ou ripado de madeira, também não tem implicações ao nível do desempenho ambiental das soluções. Assim sendo, optar por um destes revestimentos, dependerá simplesmente de opções relacionadas com o projeto de arquitetura, aí sim, fará alguma diferença ao nível do conforto térmico dos espaços, optar por uma ou outra solução.

Optar por utilizar contraplacado ou OSB, com mais ou menos espessura, em camadas intermédias de suporte, é totalmente indiferente quanto à estabilidade térmica dos espaços interiores. No entanto, no critério de desempenho ambiental, o contraplacado está ligeiramente melhor classificado porque é um material que possui um pouco menos densidade do que o OSB, contribuindo assim para baixar ligeiramente os seus indicadores de carbono incorporado.

Em todo este processo, houve um material que sempre se destacou pelo seu bom comportamento ambiental, quando os critérios de desempenho revelavam maior preocupação com o impacte ambiental causado pelos mesmos, o aglomerado negro de cortiça. Inversamente, o poliestireno extrudido (XPS) faz com que ambos os conjuntos de soluções, quer sejam com duas ou uma camada de isolamento, sejam as menos preferidas devido aos seus elevados valores de carbono incorporado.

Uma vez que os valores obtidos para o indicador funcional de eficiência energética, estão dentro dos valores regulamentares para este critério, o que foi feito foi criar maiores variações na ponderação atribuída ao critério ambiental. À medida que a sua ponderação foi aumentando, verificou-se em todas as análises a mesma tendência para que, começassem a aparecer soluções com apenas uma camada de isolamento nas preferências, no caso em que era atribuída uma ponderação de 75% a este critério até que, essa tendência ficou confirmada com uma ponderação onde a preocupação com o impacte ambiental é ainda maior.

Portanto, é possível optar por paredes onde só é colocada uma camada de isolamento, preferencialmente utilizando o aglomerado negro de cortiça, tendo consciênciade que será a melhor solução do ponto de vista ambiental.

Após esta análise preliminar, onde não foram atribuídos cenários de projeto para a construção do modelo de análise multicritério, seguir-se-á para uma próxima fase do estudo onde serão alterados os julgamentos atribuídos aos valores de referência nos critérios de eficiência energética e inércia térmica, de modo a que reflitam os cenários de projeto possíveis entre climas quente e frio, maiores ou menores preocupações com o impacte ambiental causado pelas mesmas, de forma que seja possível verificar quais as melhores soluções para cada caso. Como foi possível verificar, das 144 soluções construtivas consideradas, apenas 24 opções refletem resultados diferenciados entre si e que justificam a sua comparação e análise na próxima etapa.

3.3 Análise multicritério de soluções construtivas com cenários de projeto relacionados com o clima

3.3.1 Cenários de projeto

Após uma análise preliminar das soluções, onde não estava a ser considerado o tipo de clima onde estava inserido o projeto, e depois de retiradas as conclusões, progrediu-se para uma fase de estudo onde foram simulados cinco cenários de projeto possíveis, para definirem uma linha de análise e comparação entre as opções apresentadas. Estes cenários de projeto definem dois tipos de ambiente possíveis, clima quente e frio, e três perspetivas diferentes do decisor, relativamente ao grau de preocupação atribuído ao impacte ambiental que possa ser causado pelas soluções construtivas, nomeadamente pelos diferentes materiais que as compõem, ou pelo contrário, uma maior preocupação com o coeficiente de transmissão térmica, em climas frios.

Um dos cenários possível, refere-se a projetos que estão inseridos em climas quentes (1.1 e 1.2) o outro, refere-se aos casos em que o clima é sobretudo frio (2.1, 2.2 e 2.3), no entanto, em ambos deve haver um equilíbrio da temperatura interior e adequado às condições de conforto e habitabilidade dos espaços interiores, assegurado pelas escolhas das soluções construtivas a implementar. À parte dos climas onde estarão inseridos os projetos, há a questão relacionada com o impacte ambiental, diretamente relacionado com os materiais que constituem as soluções construtivas escolhidas aos quais serão atribuídos dois níveis de importância relativa conforme o grau de preocupação do decisor. Nos cenários 1.1 e 2.1, relativamente aos climas quente e frio, respetivamente, é atribuída a mesma ponderação de 33% aos três critérios de desempenho definidos anteriormente. No entanto, ao contrário do que foi feito na análise preliminar, nesta fase, os níveis de atratividade dos três critérios de desempenho foram alterados consoante as necessidades do projeto e do conforto interior em função do tipo de clima. Nos cenários 1.2 e 2.2, relativos aos climas quente e frio, foi atribuída uma ponderação de 75% ao critério ambiental, ou seja, onde o decisor prevê uma maior preocupação com o impacte ambiental causado pelas suas escolhas, preferindo opções com níveis mais baixos de carbono incorporado nos materiais. É proposto ainda um terceiro cenário (2.3) para a escolha de soluções construtivas de paredes exteriores, atribuindo maior preocupação (75%) ao critério de eficiência energética (U).

Tendo em conta que estão a ser considerados dois climas diferentes, quente e frio, é necessário ter em atenção algumas considerações relativamente ao conforto térmico pretendido para cada uma das situações, e como se pode alcançar estes objetivos através da escolha de soluções construtivas mais eficientes.

Nos cenários em que estão a ser ponderados ambientes com o clima quente (1.1 e 1.2), as exigências relativamente à eficiência energética e inércia térmica das soluções construtivas é distinta. Nestes casos, é aconselhável a preferência por soluções construtivas com indicadores de coeficiente de transmissão térmica baixos dentro dos padrões definidos por lei, para assim ser possível evitar a passagem de calor para os espaços interiores. Porém, em ambientes climáticos quentes, é preferível a utilização de soluções construtivas com elevada inércia térmica. Esta característica permitirá que os materiais de construção retenham grande parte do calor que é proveniente da radiação solar incidente, atrasando o aquecimento do ar interior dos espaços. Dá-se o caso em que, soluções com esta característica tem a capacidade de reter o calor durante o dia, ajudando na carga de arrefecimento que possa ser necessária, para o libertar à noite quando a temperatura está mais baixa (Mateus, 2004).

Em ambientes com o clima frio (2.1, 2.2 e 2.3), e de forma a serem alcançados melhores resultados de conforto térmico dos espaços interiores, é preferível a escolha de opções com grande capacidade de isolamento, ou seja, com os níveis de coeficiente de transmissão térmica mais baixos, de forma a garantir um bom isolamento térmico do edifício ou habitação, dada a diferença de temperatura que se pode registar entre os ambientes interior e exterior. Quanto aos valores pretendidos para a inércia térmica das soluções, dependerá da massa térmica superficial útil dos materiais que as compõem, mas se os níveis atribuídos a este indicador forem mais baixos, será mais fácil atingir resultados mais positivos em termos de conforto térmico em edifícios climatizados. Valores mais baixos de inércia térmica facilitam o aquecimento do ar interior, podendo permitir, se for o caso, uma utilização intermitente dos sistemas de aquecimento.

3.3.2 Tradução dos cenários de projeto no modelo M-Macbeth

À semelhança da primeira fase deste estudo, procede-se à construção do modelo de análise multicritério através do software M-Macbeth, de forma que seja possível transpor para este, as preocupações ambientais ou funcionais e, agora, os cenários de projeto previstos para a análise do comportamento das soluções de paredes leves em diferentes situações. Posto isto, estas preocupações irão se traduzir nos diferentes níveis de atratividade que serão atribuídos aos vários níveis de referência dos critérios de desempenho.

No cenário 1.1, é atribuída a mesma ponderação (33,33%) aos três critérios de desempenho: carbono incorporado, eficiência energética e inércia térmica, o que quer dizer que neste momento, os três critérios têm a mesma importância para o decisor na escolha da melhor solução. Ao critério de desempenho ambiental, traduzido pelo carbono incorporado (EC), os valores de referência variam entre os 30 kgCO₂e/m², sendo este o valor de referência mais atrativo, e os 220 kgCO₂e/m², considerado como o valor de referência menos atrativo. Os valores de referência atribuídos à eficiência energética, variam entre os 0,20 W/m². °C, como valor de referência mais atrativo e 0,51 W/m². °C, como valor de referência menos atrativo. No entanto, como se trata de um clima quente, para valores até 0,34 W/m². °C, a escala de atratividade entre os níveis considerados não é muito distinta porque, apesar de se preferir que estes valores se mantenham baixos em qualquer situação, não é tão importante privilegiar os valores de U muito baixos.

Pelo contrário, quando estamos perante um ambiente quente, é absolutamente importante optar por paredes com elevados valores de inércia térmica de forma a controlar os ganhos de energia da radiação solar. Assim, às soluções com 800 J/m². °C ou próximo deste valor, é atribuída uma pontuação mais elevada, ou seja, são soluções favorecidas nesse campo, e a valores iguais ou inferiores a 20 J/m². °C é atribuída uma pontuação muito baixa, sendo a escala de atratividade extrema. Aos valores intermédios, é atribuída uma diferença de atratividade maior em relação ao valor preferencial, à medida que o valor de referência vai diminuindo (Figura 23 e24).

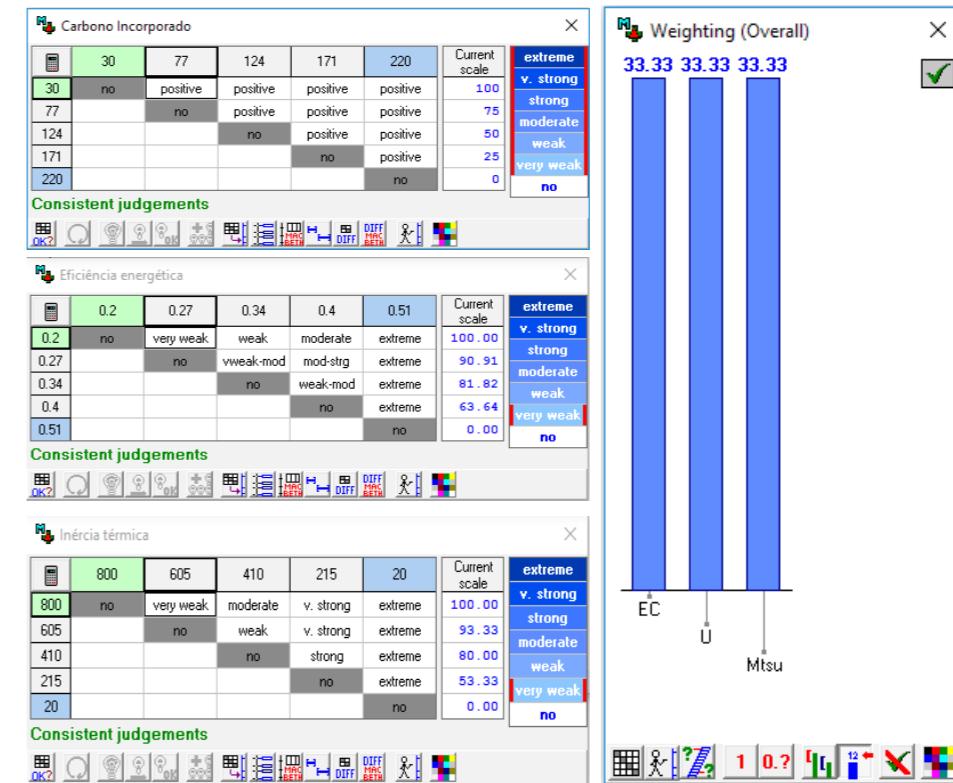


Figura 23 e 24: Matriz de julgamento dos critérios e escala de ponderação do cenário 1.1.

No clima frio, apontado como o cenário 2.1, para uma melhor identificação, na primeira situação também é atribuída a mesma ponderação (33,33%) aos três critérios de desempenho. Neste caso, também os julgamentos atribuídos aos vários níveis de referência estarão de acordo com as exigências do projeto e com o comportamento esperado das soluções construtivas perante este clima.

Os níveis de preferência atribuído ao carbono incorporado nas soluções construtivas mantém-se igual ao cenário anterior. Quanto à eficiência energética, por se tratar de um ambiente frio, e para serem evitados mais gastos de energia em processos de aquecimento em consequência de perdas de calor desnecessárias, é aqui muito importante manter os valores de coeficiente de transmissão térmica muito baixos. Daí, continuamos com o valor preferencial de $0,20 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, embora a escala de julgamentos seja aqui alterada, pelo fato de, em ambientes frios ser muito importante ter atenção a este critério. Note-se que, para valores iguais ou superiores a $0,34 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ a escala de atratividade em relação ao valor de preferência já é maior, ou seja, são valores que recebem uma pontuação mais baixa. Relativamente aos indicadores de massa térmica superficial útil, aos valores iguais ou acima dos $410 \text{ J/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ não é atribuído qualquer nível de atratividade adicional, uma vez que, valores acima do referido podem prejudicar o alcance do conforto térmico desejado, e pretende-se aqui valores mais baixos de inércia térmica pelas razões mencionadas anteriormente (Figura 25 e 26).

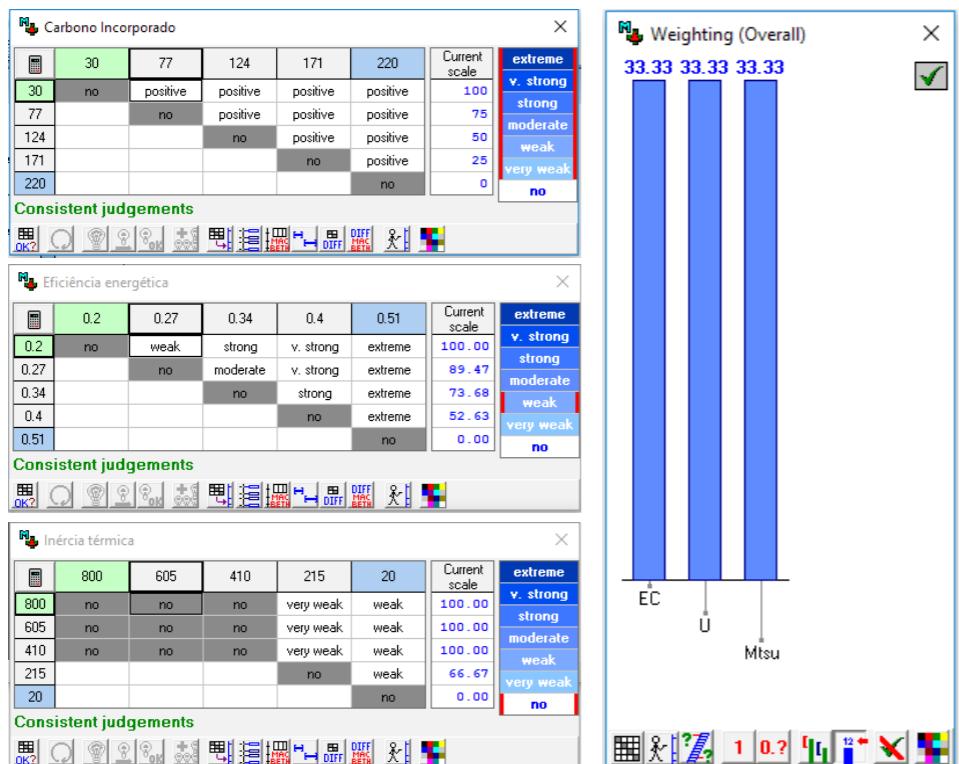


Figura 25 e 26: Matriz de julgamento dos critérios e escala de ponderação do cenário 2.1.

No cenário 1.2, relativo a um ambiente com clima quente, e 2.2, relativo à análise do comportamento de soluções em clima frio, dá-se maior importância ao desempenho ambiental das soluções, preferindo assim, soluções de paredes leves com baixos níveis de carbono incorporado. Desta forma, não houve qualquer alteração nos julgamentos atribuídos a cada valor de referência dos três critérios apresentados nos cenários 1.1 e 2.1, sendo a alteração verificada apenas nas ponderações atribuídas aos critérios de desempenho ambiental e funcional. Ao critério ambiental, representado pelo carbono incorporado, foi atribuída uma ponderação de 75%, e aos critérios de eficiência energética e inércia térmica é atribuída uma ponderação de 12,5% a cada um deles.

No quinto cenário proposto (2.3), em ambientes sobretudo frios, é considerada uma terceira situação onde, desta vez, a preocupação do decisor está sobretudo sobre a eficiência energética das soluções, ou seja, sobre o comportamento de transmissão de calor das opções. Posto isto, no âmbito da construção do modelo Macbeth em relação aos ambientes frios, os julgamentos mantêm-se exatamente iguais aos julgamentos atribuídos ao cenário 2.1 e 2.2. Porém, a alteração está na ponderação atribuída ao critério da eficiência energética que, passa agora a ter 75%, enquanto que o critério ambiental (EC) e o critério da massa térmica superficial útil, ficam com uma ponderação de 12,5% cada.

3.3.3 Apresentação dos resultados

Os resultados serão apresentados e analisados em paralelo, para o clima quente e frio, em conformidade com a mesma ponderação atribuída ao mesmo critério, nos dois ambientes. O objetivo será encontrar um equilíbrio entre o conforto térmico desejado, tanto de Verão como de Inverno e o impacte ambiental que possa ser causado pelos materiais. Sabendo que, ao longo do ano se verificam variações de temperaturas e o conforto dos espaços interiores depende do comportamento das paredes e, não sendo possível trocar as soluções construtivas conforme a estação do ano, pareceu mais lógico fazer a apresentação dos dados desta forma para que seja possível verificar a existência de alguma opção que seja comum e que satisfaça as exigências energéticas para os dois tipos de clima.

3.3.3.1 Cenário 1.1 e 2.1

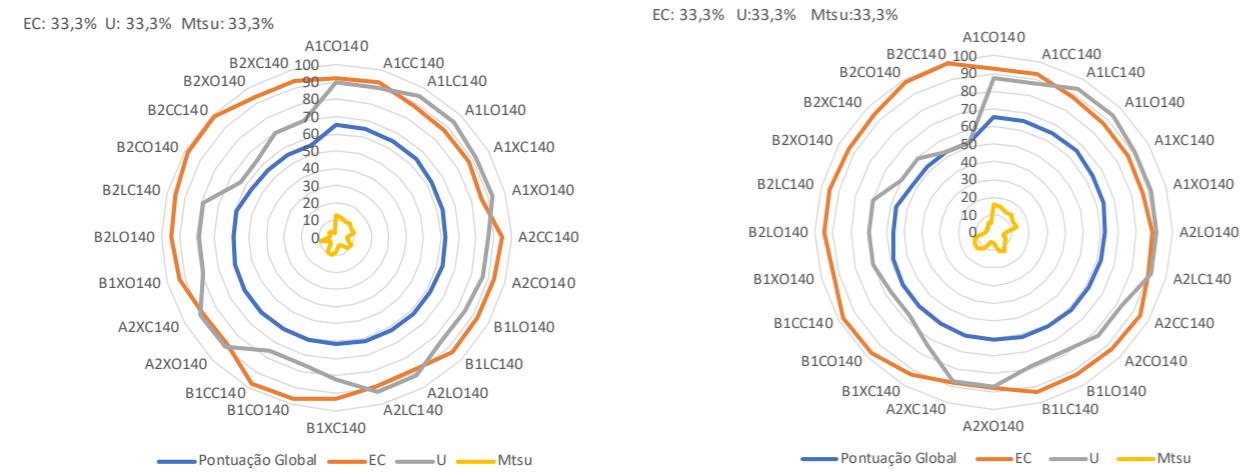


Figura 27 e 28: Gráficos com 24 soluções construtivas e respectivos desempenhos, correspondentes à atribuição da mesma ponderação aos critérios de desempenho (33,3%) e referentes a um clima quente e frio, respetivamente.

Para ambos os climas, quente e frio, e com a mesma escala de ponderação atribuída aos três critérios, é atribuída a preferência para paredes que contenham duas camadas de isolamento (e a consequente camada de suporte, em OSB ou contraplacado). Para os dois tipos de ambiente, são apontadas as mesmas seis opções, como as que devem ser escolhidas para estes casos específicos, ou seja, em primeiro lugar as opções com aglomerado negro de cortiça (com indicadores ambientais um pouco melhores em relação aos outros dois materiais de isolamento), em seguida com lã de rocha e depois com poliestireno extrudido (XPS). Isto, referente a soluções de paredes com que tenham duas camadas de isolamento.

O que acontece para o fato de, nas duas situações, serem apresentadas as opções com duas camadas de isolamento como as que devem ser escolhidas, está relacionado com o coeficiente de transmissão térmica pretendido para estes dois ambientes. Para serem alcançados níveis satisfatórios de eficiência energética, os valores do coeficiente de transmissão térmica devem ser mantidos baixos. Conjugar este fator importante, ao optar por soluções com mais material de isolamento, não compromete tanto quanto o esperado, os níveis de carbono incorporado e o impacte ambiental destas paredes em relação às que apenas têm uma camada de isolamento.

É possível mostrar, como exemplo, o que acontece em ambos os ambientes com as opções A1CO140 e B1XO140. Em ambos os tipos de clima, o que se ganha de eficiência energética utilizando a opção A1CO140 em relação à opção B1XO140, em comparação com os valores de carbono incorporado, que são iguais para ambas as opções, compensa o fato de se apostar em melhor eficiência energética, não comprometendo o meio ambiente pela decisão tomada.

Portanto, pondo lado a lado em análise as opções para o clima quente e frio, ainda que, sem ter preferências quanto aos indicadores ambientais ou funcionais, é possível apurar um equilíbrio entre soluções conforme o cenário estipulado, ao mesmo tempo que é possível encontrar opções em comum e que assumem um bom compromisso para os dois tipos de clima.

3.3.3.2 Cenário 1.2 e 2.2

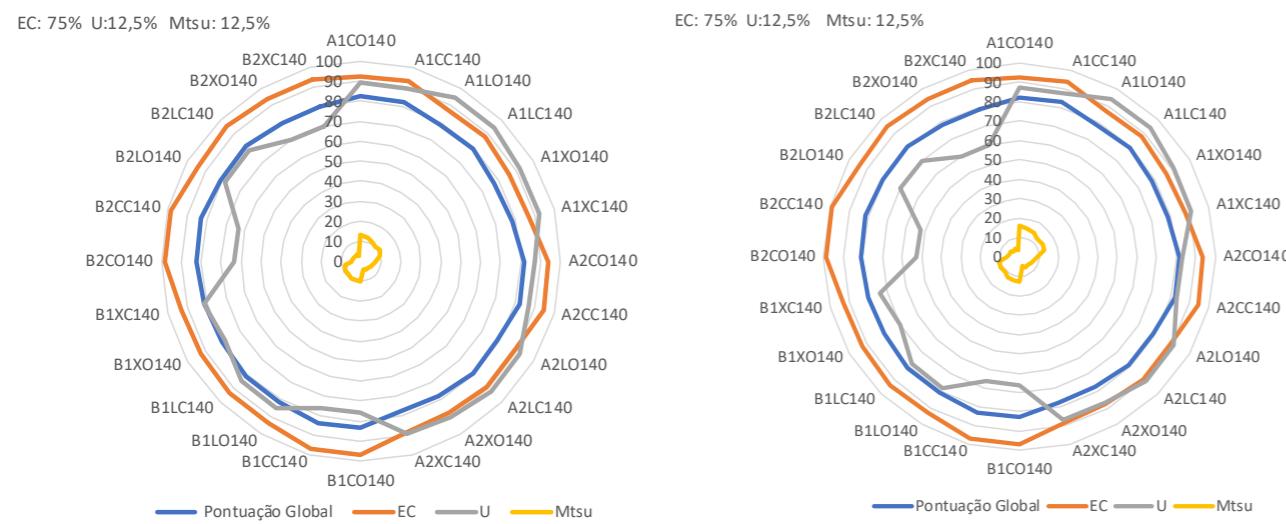


Figura 29 e 30: Gráficos com 24 soluções construtivas e respetivos desempenhos, correspondentes à atribuição da ponderação aos critérios de desempenho (75% EC; 12,5% U e 12,5% Mtsu) e referentes a um clima quente e frio, respetivamente.

Ao atribuir maior ponderação ao critério ambiental, preferindo a utilização de soluções que tenham um baixo impacte ambiental, surgem também com melhores indicadores, para o clima quente (1.2), opções com apenas uma camada de isolamento térmico (B1CC140, B1CO140 e B2CC140). Isto acontece porque, a escala de julgamento atribuída no modelo multicritério, não atribui muita diferença de atratividade entre os valores de coeficiente de transmissão térmica até aos 0,4 W/m². °C, fazendo com que, a conjugação entre uma maior ponderação para o critério de carbono incorporado e a matriz de julgamentos atribuída à eficiência energética, dê oportunidade de surgirem opções com apenas uma camada de isolamento com maior pontuação global.

Ainda assim, as opções A2CC140 e A1CC140, também se destacam ligeiramente no gráfico, indicando a possibilidade de estas soluções, embora com mais material de isolamento na sua composição, se tornarem uma opção real de escolha, indo ao encontro das conclusões retiradas nos cenários anteriores. Estas soluções têm, surpreendentemente, indicadores ambientais muito equiparados a soluções com apenas uma camada de isolamento, apesar de contabilizando todos os materiais que constituem estas soluções dependerem de mais etapas de processamento da matéria-prima. No entanto, como se tem vindo a verificar, a preferência pela utilização do aglomerado negro de cortiça e o contraplacado, parede atenuar bastante o que poderia ser uma diferença mais significativa nos seus indicadores ambientais. Pela diferença de carbono incorporado não ser muito grande em relação às soluções com apenas uma camada de isolamento, a preferência por estas paredes é otimizada pelo fato de se conseguir ganhar na eficiência energética.

Em contrapartida, para o clima frio, é atribuída melhor pontuação a mais soluções construtivas para paredes leves com duas camadas de isolamento e mais uma camada intermédia de OSB ou contraplacado. Aqui, a escala de preferência é alterada e atribui maior diferença de atratividade para os valores mais baixos de coeficiente de transmissão térmica, visto estar a ser considerado um ambiente de Inverno, preferindo assim soluções com maior capacidade de isolamento térmico.

Mais uma vez, confirma-se o que anteriormente tinha sido apresentado. A diferença nas ponderações atribuída ao critério ambiental é, em alguns casos, nula ou com diferenças muito baixas, quando comparadas soluções com uma ou duas camadas de isolamento. Logo, beneficiar o conforto térmico dos espaços interiores em função da escolha de soluções de paredes com mais material de isolamento, compensa mesmo que signifique perder alguma percentagem no critério ambiental que será insignificante em alguns casos.

Considerando estes dois cenários de projeto, e a classificação atribuída às soluções construtivas, seria mais adequando optar pelas opções A1CC140 e A1CO140, de forma a satisfazer as necessidades e conforto dos espaços em função do tipo de clima e atendendo à preocupação ambiental demonstrada.

3.3.3.3 Cenário 2.3

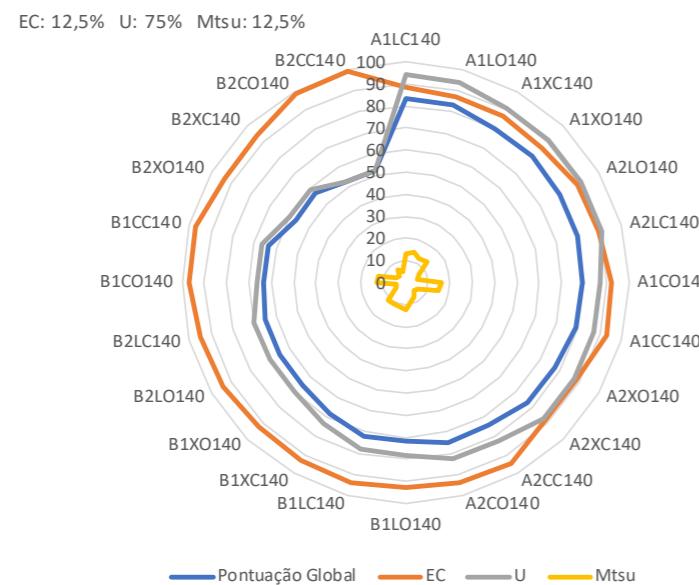


Figura 31: Gráfico com 24 soluções construtivas e respectivos desempenhos, correspondentes à atribuição da ponderação aos critérios de desempenho (12,5% EC; 75% U e 12,5% Mtsu), referentes a um clima frio.

No Inverno, interessam sobretudo soluções de paredes exteriores com maior capacidade de isolamento térmico. Ao atribuir maior ponderação ao critério da eficiência energética considerando um clima frio, estão a ser privilegiadas as opções que tenham melhor capacidade para tal. Como tal, surgem com melhor pontuação global, evidentemente, as soluções com duas camadas de isolamento, porém, neste caso, o isolamento feito com lã de rocha assegura uma maior eficácia das paredes a este nível.

Seguindo a mesma lógica do que já foi apresentado anteriormente, neste cenário, as paredes com aglomerado negro de cortiça não estão com a melhor pontuação geral em relação a todas as soluções pelo fato de existirem outros materiais com maiores capacidades de isolamento. No entanto, é também possível optar por estas (A1CO140 e A1CC140), tendo consciência de que são melhores ambientalmente do que outras opções, e a diferença no parâmetro individual do coeficiente de transmissão térmica, para as opções que estão melhor pontuadas neste critério, não é muito grande que justifique não optar pelas paredes com aglomerado negro de cortiça. No entanto, salvaguardar que, para este cenário específico, as preferências recaem sobre paredes que utilizem, em primeiro lugar, lã de rocha ou poliestireno extrudido (XPS), sabendo que se ganha ao nível da eficiência energética em detrimento do impacte ambiental causado pelas mesmas.

3.4 Discussão dos resultados

Após a realização da análise comparativa entre as 24 soluções construtivas de paredes leves exteriores em madeira, surgiram dados interessantes e um pouco inesperados, em comparação aos resultados obtidos quando efetuada a análise das soluções, ainda sem cenários de projeto previstos.

Nesta fase de estudo, praticamente todos os cenários propostos, atribuem maior preferência pela utilização de paredes exteriores com duas camadas de isolamento e, preferencialmente, a utilização do aglomerado negro de cortiça, no caso de haverem maiores preocupações com o ambiente e as emissões de gases poluentes resultantes dos processos de fabrico dos materiais.

O fato de serem considerados dois tipos de clima, quente e frio, tem consequências neste caso essencialmente, nos resultados pretendidos em relação ao coeficiente de transmissão térmica, uma vez que, em relação ao critério da inércia térmica, os resultados obtidos em relação a cada solução é muito baixa. Assim, conjuga-se a eficiência energética e o indicador ambiental como forma de leitura dos resultados.

Os dados revelam que, ao contrário do que se esperava, é possível optar por soluções com duas camadas de isolamento térmico e adicionar mais uma camada de OSB ou contraplacado, a fim de garantir uma maior eficiência energética das paredes e, ainda assim, assumir um bom compromisso com o indicador ambiental. É ainda possível indicar duas soluções que, nos cenários de Verão e de Inverno, oferecem um bom compromisso entre a eficiência energética pretendida para alcançar um maior conforto dos espaços interiores e ter em atenção o impacte ambiental das mesmas, as opções A1CC140 e A1LC140. No caso da primeira opção, consegue-se baixar um pouco no efeito negativo que poderia ter em relação ao ambiente em comparação com a opção A1LC140. Pelo contrário, a segunda opção, apresenta valores um pouco superiores quanto à sua capacidade de isolamento térmico, em detrimento dos níveis de carbono incorporado. No entanto, põe-se a hipótese de estas ligeiras variações de pontuação entre soluções estar relacionada com a possibilidade de poder estar no âmbito da margem de erro de cálculo.

IV. Considerações Finais

Esta metodologia de trabalho contou, inicialmente, com a presença de 144 soluções construtivas de paredes leves exteriores em madeira. Tendo o processo sido desenvolvido em duas fases distintas. Numa primeira parte faz-se uma análise sem serem considerados cenários de projeto relacionados com o clima, analisando as soluções construtivas em comparação absoluta. A segunda parte, como seguimento da primeira, baseou-se em tentar encontrar soluções que correspondam às exigências do ambiente e de um clima em específico, quente ou frio. Ao longo do processo percebeu-se que, das 144 soluções iniciais, haviam algumas opções que não acrescentavam informação relevante em comparação com outras, daí, a necessidade de reduzir a base de dados e o número de soluções a comparar, até como forma de otimização do processo de análise.

Os resultados obtidos mostraram que é possível optar por soluções construtivas com duas camadas de isolamento térmico adicionando uma camada de OSB ou contraplacado, e assim garantir um melhor desempenho energético das soluções, sem que isso ponha em causa o comportamento ambiental das mesmas em determinadas situações, comparativamente com as soluções com apenas uma camada de isolamento.

Posto isto, este trabalho surge como uma tentativa de contribuição para uma base de dados que permita fornecer informação mais detalhada acerca do comportamento ambiental e funcional destas soluções construtivas em específico, e contribuir para que o processo seletivo das mesmas em cada projeto e para cada ambiente, seja o mais otimizado, rápido e eficaz possível.

Em nota, fica a sugestão de que seria interessante promover o mesmo estudo comparativo entre soluções para paredes leves e paredes pesadas.

V. Referências Bibliográficas

- Bana e Costa, C.A.; De Corte, J.M.; Vansnick, Jean-Claude (2003). Macbeth, Working Paper. LSE OR Working Paper 03.56, London School of Economics, London.
- Bana e Costa, C.A.; De Corte, J.M.; Vansnick, Jean Claude (2011) MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). In J.J. Cochran, ed. Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science. John Wiley & Sons.
- Bana e Costa, C.A.; De Corte, J.M.; Vansnick, Jean Claude (2012) MACBETH. International Journal of Information Technology & Decision Making, Vol. 11 (2), 359-387.
- Bragança, L., & Mateus, R. (n.d.). Sustentabilidade de Soluções Construtivas.
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (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, 394–416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>
- Cruz, E. P., & Cova, C. G. (2007). Teoria das decisões: Um Estudo do Método Lexicográfico. Pensamento Contemporâneo em Administração, v.1, 26-35
- DCLG (2009). Multi-criteria Analysis: a manual, Department for Communities and Local Government, London.
- Dias, Tiago Filipe (2014). Avaliação Multicritério da Sustentabilidade em Cadeias de Abastecimento. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Fei, M.; Giovannoni, E.; Mocenni, C. & Sparacino, E. (s.d). Metodi di analisi multicriterio per la balanced scorecard. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università degli Studi di Siena.
- Hammond, G. P., & Jones, C.I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials, 161 (May), 87-98. <https://doi.org/10.1680/ener.2008.161.2.87>.
- Herzog, Thomas; Krippner, Roland; & Lang, Werner (2004). Facade Construction Manual. Basel: Birkhauser.
- Kaklauskas, Arturas; Zavadskas, Edmundas; Raslanas, Saulius (2004). Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments. Elsevier, 361 – 372.
- Marques, Luís Eduardo M. M. (2008). O Papel da Madeira na Sustentabilidade da Construção. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Mateus, Ricardo; Bragança, L. (2004). Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Desenvolvimento De Uma Metodologia Para a Avaliação da Sustentabilidade de Soluções Construtivas.
- Mateus, R. F. M. da S. (2004). Novas Tecnologias Construtivas com Vista à Sustentabilidade da Construção. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Escola de Engenharia.
- Mateus, R., Neiva, S., Bragança, L., Mendonça, P., & Macieira, M. (2013). Sustainability assessment of an innovative lightweight building technology for partition walls - Comparison with conventional technologies. Building and Environment, 67, 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.05.012>
- Neila Gonzalez, F. (2004). Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Editorial Munillaleria.
- Neiva, S., Mateus, R., & Bragança, L. (2012). Utilização Do Método Lca No Projeto De Edifícios Sustentáveis. Congresso Construção, 1–10.
- Oliveira, M. A. G. da C. (2012). Comportamento térmico de soluções construtivas com estrutura em madeira. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho.
- Pina dos Santos, C., & Matias, L. (2006). Coeficientes de Transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, ITE 50. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Pinto, Joaquim António da (2006). Teoria da Matemática das Eleições. Dissertação de Mestrado. Departamento de Matemática Pura. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Rietkötter, Lea F. B. (2014). Ending the war in multi-criteria decision analysis: Taking the best from two worlds. The development and evaluation of guidelines for the use of MACBETH in multi-criteria group decision making for the assessment of new medical products. Dissertação de Mestrado. Universidade de Twente.
- Silva, Eduardo José Carvalho (2015). Aplicação do método de Borda para avaliar as decisões coletivas:Um estudo sobre a avaliação de processos críticos afetados pela estratégia do setor elétrico. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção.
- USDA (2010). Wood Handbook - Wood as an Engineering Material. United States Department of Agriculture, 509. <https://doi.org/General Technical Report FPL-GTR-190>.
- Veludo, S., & Rato, V. (2017). Performance-based Selection of Sustainable Construction Solutions for External Walls. In K. Hadjri, & L. Madrazo (Ed.), Global Dwelling: Approaches to sustainability, design and participation. WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering, 91. Southampton: WIT Press. In press.
- Vincke, Philippe (1992). Multicriteria Decision-Aid (Marjorie Grassner, Trans). Inglaterra, Jonh Wiley & Sons Ltd (Obra original publicada em 1989).
- Viegas, Marta M. A. Amâncio, 2012. Avaliação do Impacte Ambiental e Energético do Edifício Solar XXI. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente.

VI. Anexos

s indicadores de desempenho ambiental e funcional de cada solução

MARIANA RIBEIRO NUNES

VERTENTE PROJETUAL:
Sport Alenquer e Benfica

TUTOR:
Professor Doutor, Pedro Pinto, Professor Auxiliar, ISCTE-IUL

Trabalho de projeto submetido como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Arquitetura



Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Mestrado Integrado em Arquitetura
Outubro 2017

VII. Proposta de Grupo

“A estrada-rua mistura tudo num conflito permanente, camiões e peões, carros e autocarros, motorizadas e patins em linha, cruzamentos com outras estradas. (...) Rápida de mais para quem lá vive, lenta e congestionada para quem lá passa.”¹

Álvaro Domingues, A Rua da Estrada, pág. 16

¹Domingues, Álvaro (2009). A rua da estrada: o problema é fazê-los parar!. Porto: Dafne Editora.

Infraestrutura e Paisagem

A proposta de intervenção de grupo advém de uma análise do concelho de Alenquer, resultando numa intervenção no eixo que liga a freguesia do Carregado e a vila de Alenquer.

Desta maneira, a estratégia teve como ponto de partida o eixo que une estes dois núcleos urbanos, a Estrada Nacional 1. Com o aparecimento das vias rápidas, a importância desta estrada como o principal eixo viário que liga Lisboa ao Norte tem vindo a desaparecer. Com estas, verifica-se uma redução da circulação automóvel nas estradas nacionais, sendo, neste momento, utilizada, maioritariamente, por veículos pesados e circulação de curtas distâncias.

Assim, um dos lugares que teria uma grande importância neste percurso, dado a sua localização relativamente a esta estrada, perdeu-se com o seu desvio para o lado nascente, deixando de passar tangente à Vila e, por conseguinte, de se a avistar.

Ao mesmo tempo, no Carregado, a maior confluência do tráfego de veículos pesados, levou a que este se dividisse entre as duas margens da estrada, perdendo a sua unidade.

De modo a reduzir a afluência destes no centro do Carregado, é proposto um desvio dos veículos pesados para a Autoestrada 1. A entrada nesta é feita na Nacional 3, entre Castanheira do Ribatejo e a Vala do Carregado, e a saída na IC2, uma estrada limítrofe de caráter industrial, retomando a N1 acima do núcleo urbano do Carregado.

Este desvio potencia uma nova vivência da estrada, em que, através da aproximação à escala humana, adquire um caráter de rua. Esta vivência é reforçada por, nesta proposta, ser considera-

da a Rua Principal como alternativa de acesso à Vila de Alenquer. Este desvio automóvel permite que, para além da alteração do caráter da Estrada Nacional através redução de tráfego, se dê uma transformação do caráter desta Rua. Atualmente, a malha urbana ao longo da Rua Principal encontra-se fragmentada e secundarizada. Através da alteração do perfil desta rua, alargando as vias e passeios, é possibilitada uma ligação automóvel mais fácil, podendo potenciar a expansão e agregação urbana.

Assim, da mesma maneira que a Estrada Nacional adquire um caráter mais de rua, a Rua Principal poderá ganhar um caráter mais de estrada.

Este caráter é reforçado através da implementação de uma mancha verde que pretende, para além de atribuir uma nova paisagem à Estrada Nacional, no lugar que, atualmente, é fortemente industrializado, cria um limite de cintura entre a zona industrial e a potencial zona urbana, agregada à Rua Principal.

"A rua da estrada é como um centro em linha, uma corda onde tudo se pendura; uma estrada-mercado. O problema da rua da estrada é a fimbria de espaço que está entre o asfalto e os edifícios: valeta, passeio, ausência de um e de outro, estacionamento, rampas de acesso a edifícios e lotes, interrupções, problemas. A rua da estrada não tem aquelas magníficas árvores que dantes havia e se fechavam em túneis de floresta-galeria, nem tem os passeios amplos e confortáveis que é suposto as ruas terem".²(p 15-16)

² Domingues, Álvaro (2009). A rua da estrada: o problema é fazê-los parar!. Porto: Dafne Editora.

A identificação do potencial da Estrada Nacional 1 e a intervenção nesta, quer nas suas dimensões, quer no seu percurso, possibilita a restruturação de vários lugares ao longo do seu trajeto. Para além da aproximação de escala feita no Carregado e a redefinição da Rua Principal, esta viabiliza, também, um momento de chegada a Alenquer, pretendendo retomar a posição da Vila face à EN1.

Para este efeito, propõe-se a recuperação do troço de estrada que entrou em desuso com o aparecimento da IC2, originando um bypass que conduziu à redução da utilização do troço da EN1, acabando por esquecer Alenquer.

As intervenções propostas pretendem afirmar a intenção da restruturação dos três lugares anteriormente identificados.

No Carregado escolhe-se um lugar em conflito com a Estrada Nacional e com a Rua Principal, rasgando o sítio onde, atualmente se encontra a Associação Desportiva do Carregado, que possibilite uma nova ligação entre as duas ruas enunciadas. Esta ligação é concretizada através de um parque urbano em conjunto com variados equipamentos públicos, transformando este lugar numa nova centralidade para o Carregado.

No percurso da Rua Principal opta-se por intervir num lugar que, atualmente, se encontra congestionado, dado a desorganização espacial dos programas que lhe estão inerentes - o Sport Alenquer e Benfica. A reorganização deste lugar permite, para além da construção de novos equipamentos para a associação desportiva, criar espaços verdes, e permitir a ligação a outros equipamentos públicos, como a Escola Secundária e o Pavilhão Municipal.

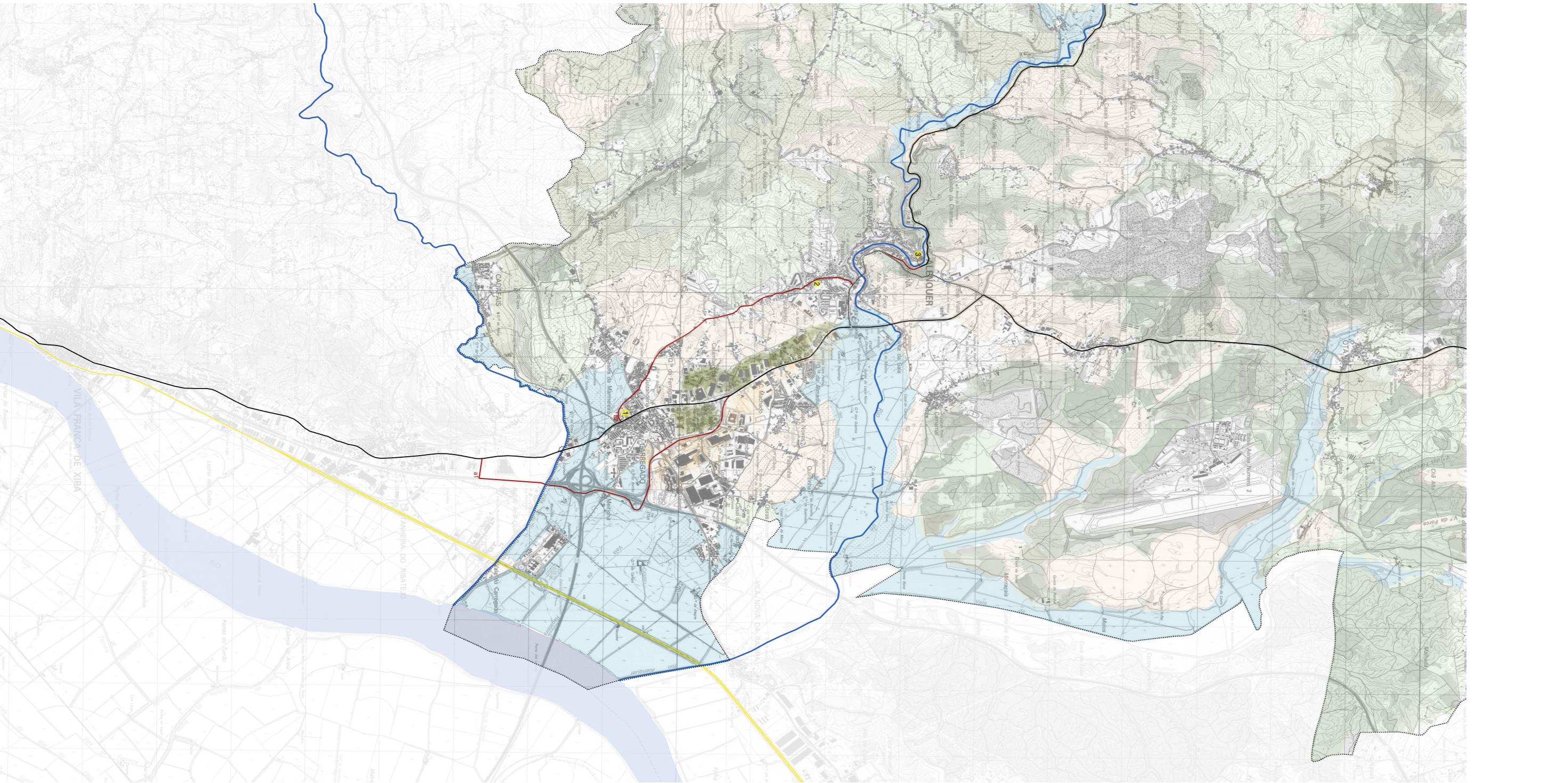
Em Alenquer, desenha-se um momento de chegada, propiciado pela passagem da Estrada Nacional. Esta chegada, que atualmente é feita a sul da vila de Alenquer, é transferida para a zona norte, num lugar mais amplo com maior potencialidade para efetuar trocas rodoviárias e automóveis – o Areal. Neste sítio, presentemente com pouca atividade, atribui-se novas vivências, não só através da introdução de um interface rodoviário no areal, mas também de um plano de acessibilidades à Vila Alta.

As propostas enunciadas, em conjunto com os desvios automóveis e a arborização da zona industrial, constituem uma reflexão sobre este território, através de uma intersecção entre **infraestrutura e paisagem**.

*"A Rua da Estrada emerge sobre os escombros da dupla perda da "cidade" e do "campo" (...) Mais do que lugar, ela emerge como resultado da relação, do movimento. O fluxo intenso que a percorre é o seu melhor trunfo e a sua própria justificação. Sem fluxo não há troca nem relação, génese primordial da velha cidade. Dizia alguém explicando as manobras de sedução que praticava para tornar o seu negócio visível para quem vai na estrada: O problema é fazê-los parar."*³

Texto realizado pelo grupo constituído por : Aline Gonçalves; Jéssica Morgado e Mariana Nunes

³ Domingues, Álvaro (2009). *A rua da estrada: o problema é fazê-los parar!*. Porto: Dafne Editora.



- Localização propostas individuais (2 - Sport Alenquer e Benfica)
- Mancha verde proposta
- a1 - Alternativa à N1 para pesados
- a2 - Alternativa à N1 para ligeiros
- Limite do Concelho
- Linha de Água
- Estrada N1/N9
- Troço da N1 em desuso
- Caminhos de Ferro
- Proposta de Alternativa à N1
- Percurso Interno

VIII. Proposta Individual



As atuais instalações do Sport Alenquer e Benfica, encontram-se fechadas sobre si, sem qualquer comunicação visual com o ambiente exterior, nem com o espaço público em seu redor.

Como forma de potencializar o espaço em redor das atuais instalações, propõe-se a relocalização de uma oficina de ferro-velho, que neste momento se encontra adjacente ao equipamento desportivo e sobre as traseiras das habitações da Rua do Pedrógão, para um local mais adequado a este tipo de atividade.

Assim, é mais fácil agilizar a reorganização e implantação do novo equipamento desportivo permitindo, neste troço, algum espaço livre na frente de rua, criando uma bolsa verde como complemento da proposta urbana individual e de grupo.

Figura 32: Diagrama de circulações viárias e pedonal





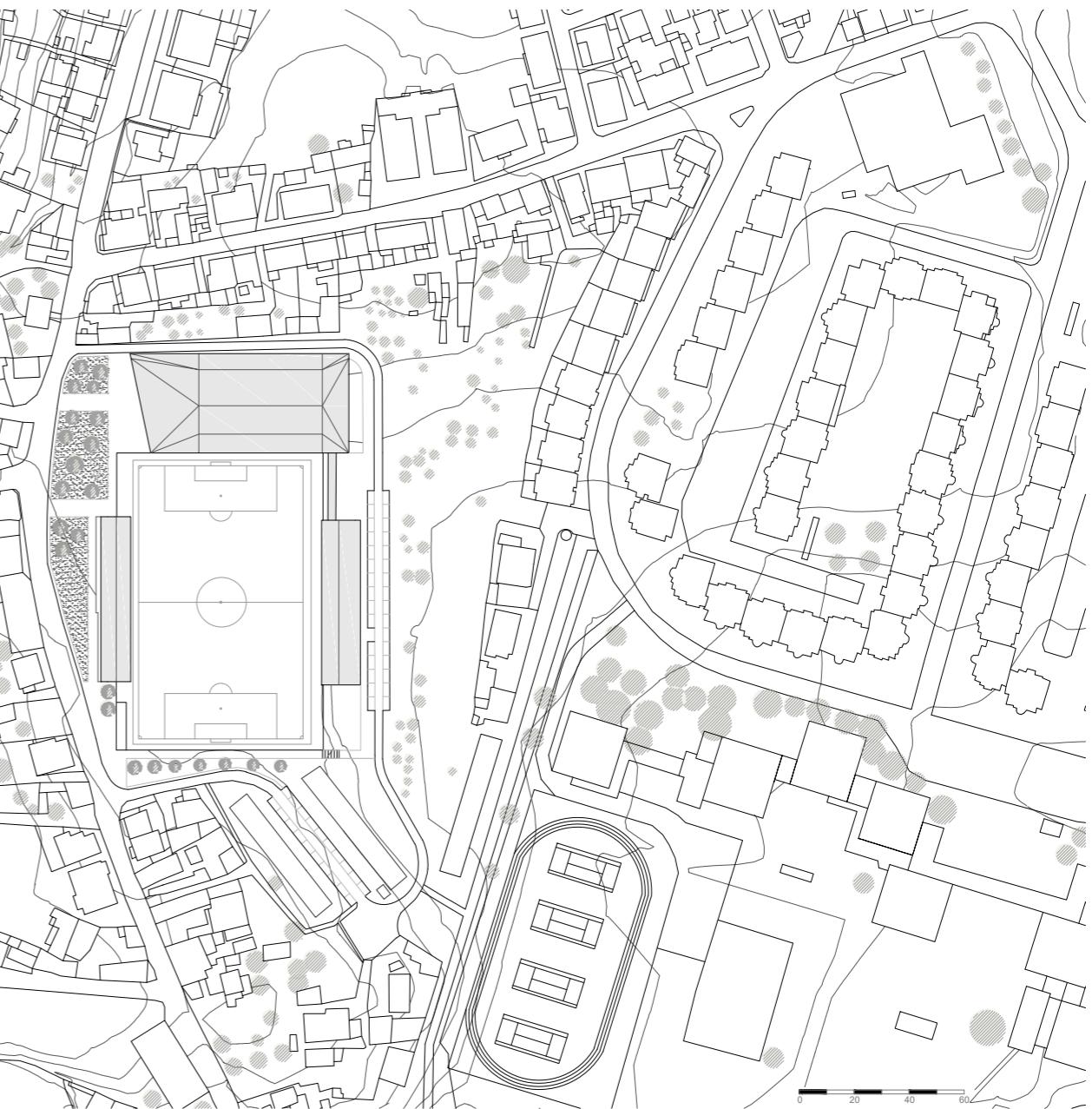
Proposta individual

Como proposta individual desenvolvida, propõe-se uma reorganização das atuais instalações do Sport Alenquer e Benfica, de forma a melhorar o desempenho do atual equipamento e, sobretudo, permitir redefinir o espaço público da Rua Principal, na localidade de Paredes, criando uma praça arborizada na entrada do recinto desportivo, à escala deste.

O programa desportivo é distribuído em redor do atual campo de futebol, mantendo no essencial as suas valências existentes, embora redesenhando as suas unidades funcionais, de modo a melhorar a qualidade e quantidade potencial do seu desempenho.

A implantação dos novos edifícios, a organização dos estacionamentos aliado à proposta de uma nova rua, muros, bancadas e vedações, é proporcionada de forma a permitir o melhor enquadramento possível com a vizinhança edificada, libertando vistas e permitindo que o espaço público penetre no interior de um quarteirão.

O desenho de um novo eixo viário, surge pela necessidade de criar uma maior ligação entre os vários equipamentos desportivos e escolares ali existentes, mas também como forma de resolver um problema atual de congestionamento e falta de estacionamento, não só no dia a dia, como também quando há maior atividade desportiva nas instalações do Sport Alenquer e Benfica. Este desenho urbano permite assim, uma maior comunicação entre a Rua Principal, a Avenida Teófilo Santos, a Escola Secundária Damião de Góis, envolvendo também o Bairro Gulbenkian.



1.



2.



3.

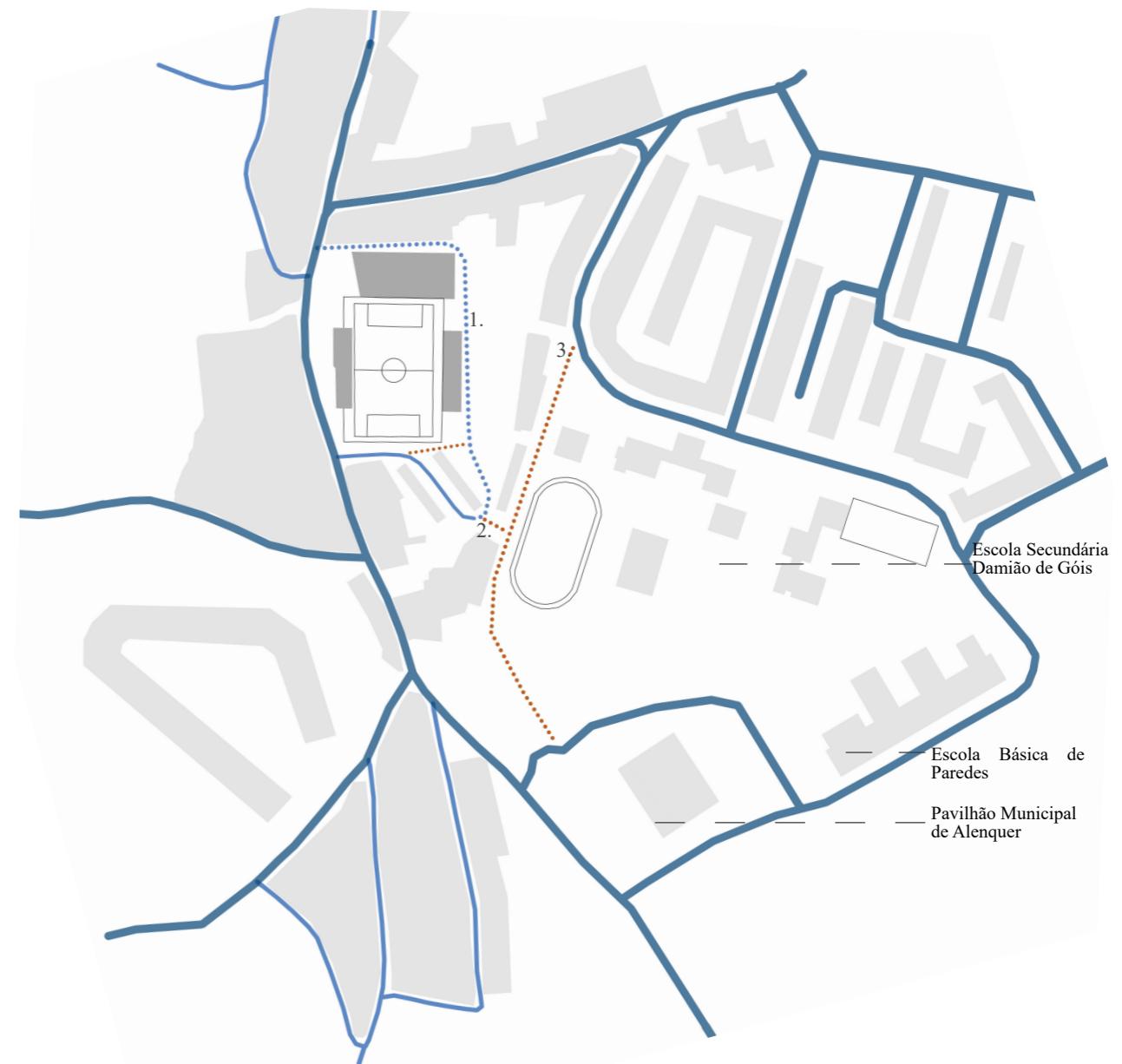


Para que este grande quarteirão deixe de ter um carácter fechado sobre si mesmo, propõe-se a reestruturação e continuação do eixo viário Bairro Calouste Gulbenkian, paralelamente ao campo de futebol do Sport Alenquer e Benfica, saindo novamente na Rua Principal, e servir os utilizadores deste equipamento desportivo bem como os próprios moradores daquela zona.

Complementando esta nova proposta urbana, é proposto também a requalificação dos percursos pedestrais existentes. Estes percursos permitirão uma maior conexão entre a Rua Pincipal, o complexo desportivo do Sport Alenquer e Benfica, e as instalações escolares e desportivas já existentes, mas que hoje não têm qualquer tipo de comunicação.

- Percorso viário 1 sentido
- Percorso viário 2 sentidos
- Requalificação Percorso pedestral
- Percorso viário proposto

Figura 33: Diagrama de circulações viárias e pedonal



Programa arquitetónico

O novo programa arquitetónico distribui-se em redor do atual campo de futebol. Como tal, propõe-se a edificação de dois grandes volumes que integram os programas desportivos, sendo que um deles - Pavilhão Desportivo - se destina a desportos como o hóquei em patins (uma das modalidades que tem maior importância hoje em dia no clube), bem como a eventual prática de outros desportos interiores. O programa do pavilhão integra ainda no piso de entrada, um bar e uma pequena sala de jogos, uma sala de convívio que pode servir a população mais idosa da zona, bem como uma sala de reuniões. No piso inferior do pavilhão, encontram-se os balneários para as equipas e treinadores, com acesso direto da nova rua proposta.

O segundo volume destina-se ao programa de apoio às atividades do campo de futebol, bem como às áreas administrativas. Assim sendo, no piso de entrada deste volume, encontram-se as salas administrativas, um bar, áreas de serviço, instalações sanitárias e salas teóricas. No piso superior, com acesso direto para o campo de futebol, localizam-se os balneários de apoio a este, um espaço destinado à arrumação dos materiais desportivos e ainda uma sala com visibilidade direta para o campo de futebol.

A bancada que serve o campo de futebol, desenvolve também nas suas costas uma outra bancada direcionada para a Rua Principal e para o espaço verde desenhado.

Planta Cobertura

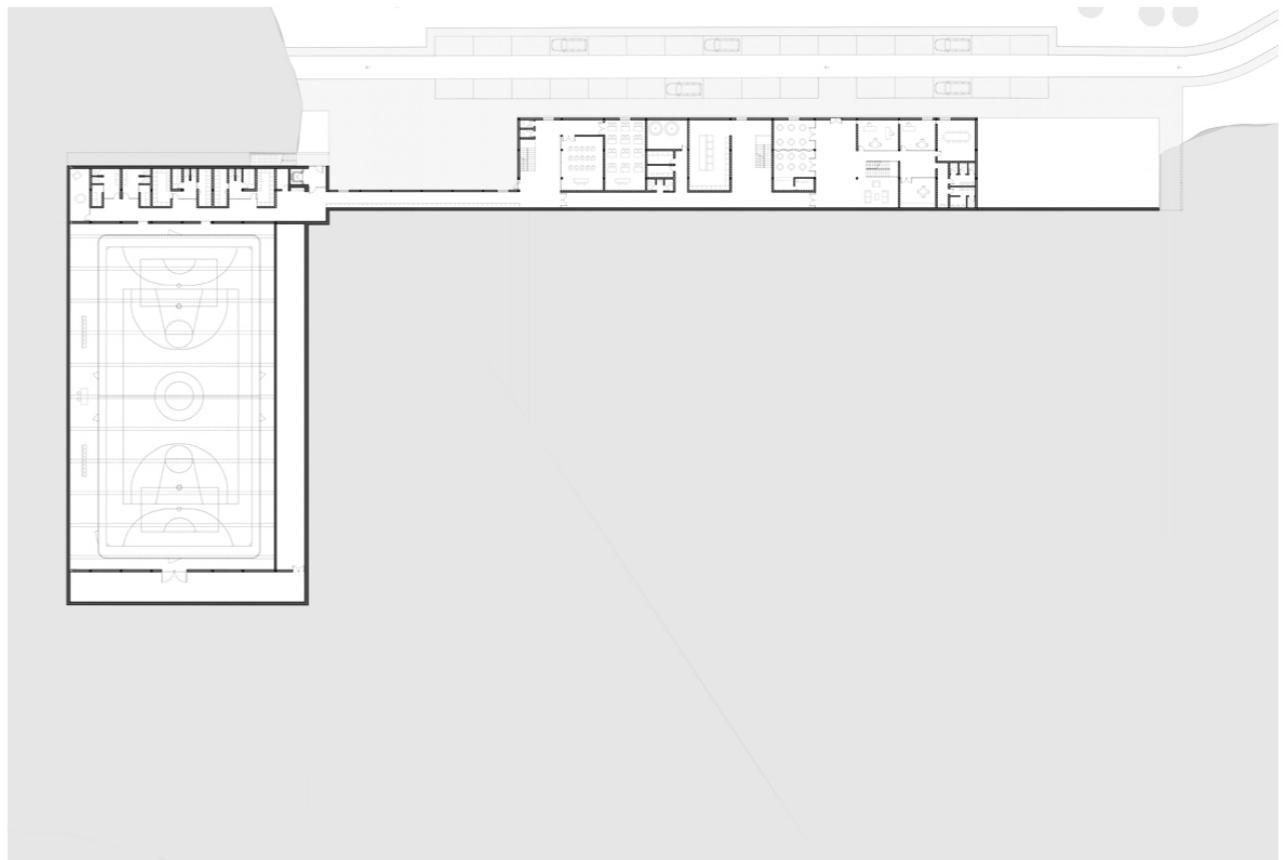




Planta Cota 49



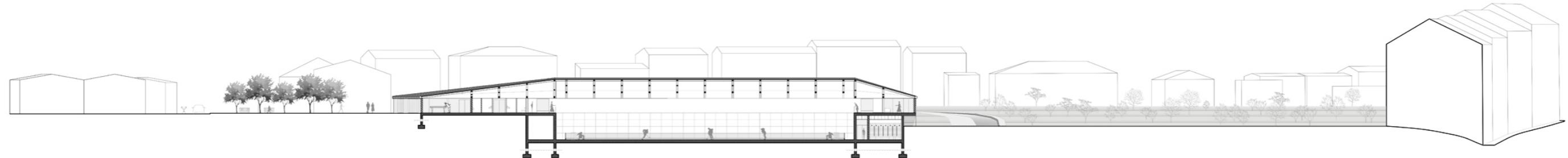
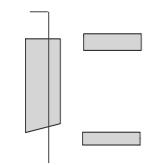
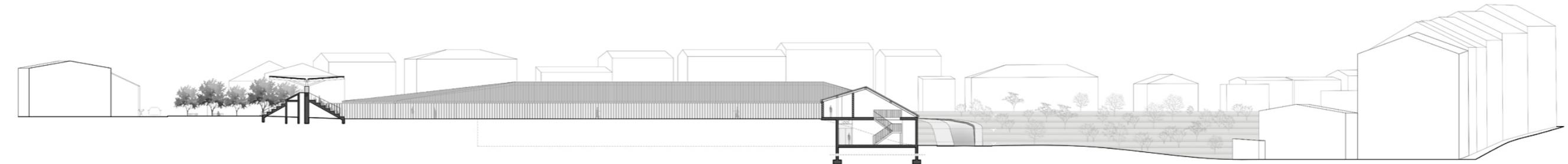
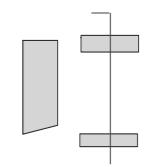
122



Planta Cota 45

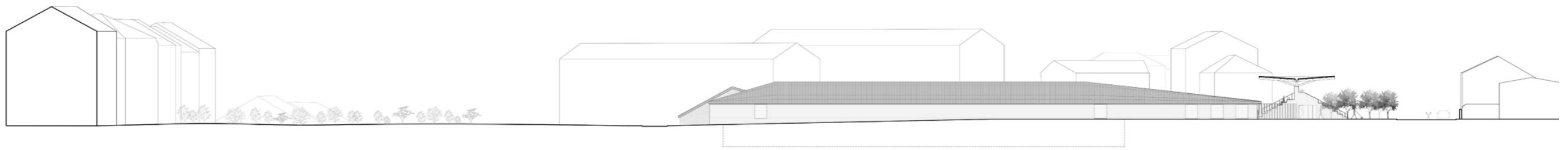
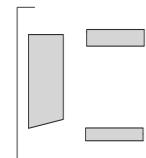
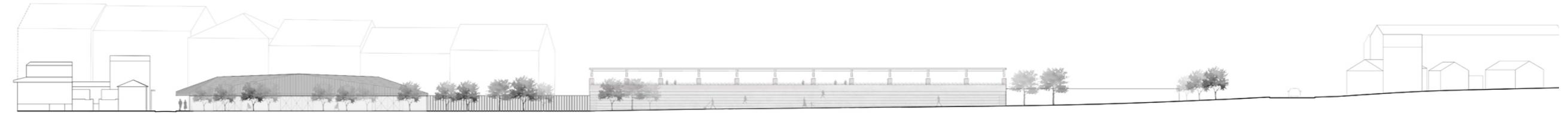
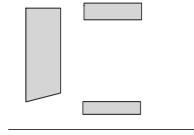


123



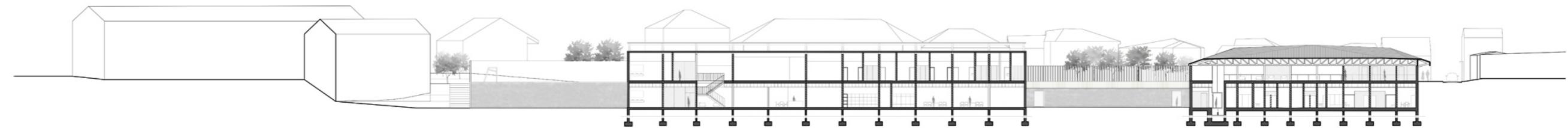
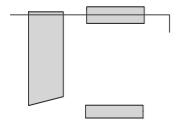
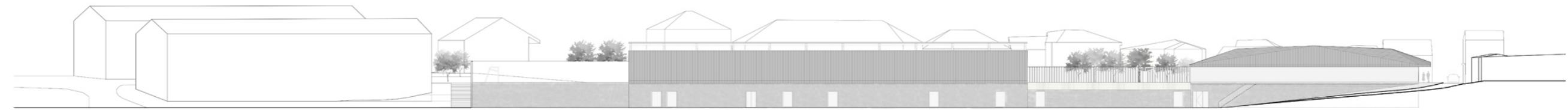
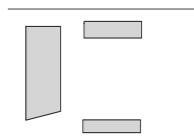
Alçado Sul
Corte AA'

0 14m



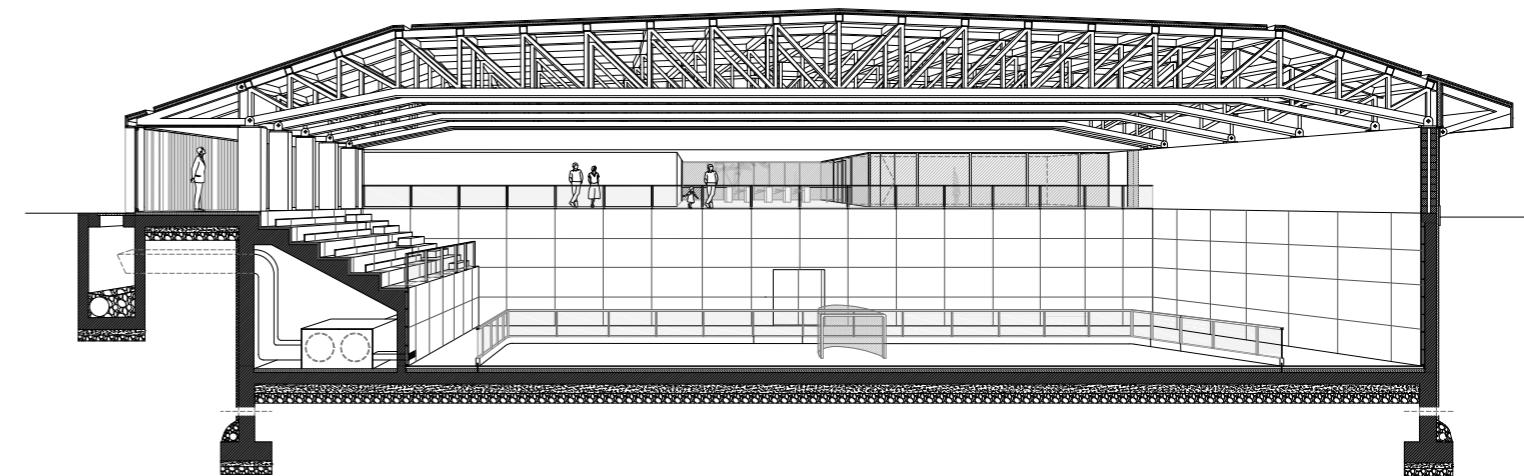
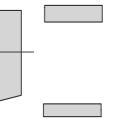
Alçado Poente
Alçado Norte

0 14m



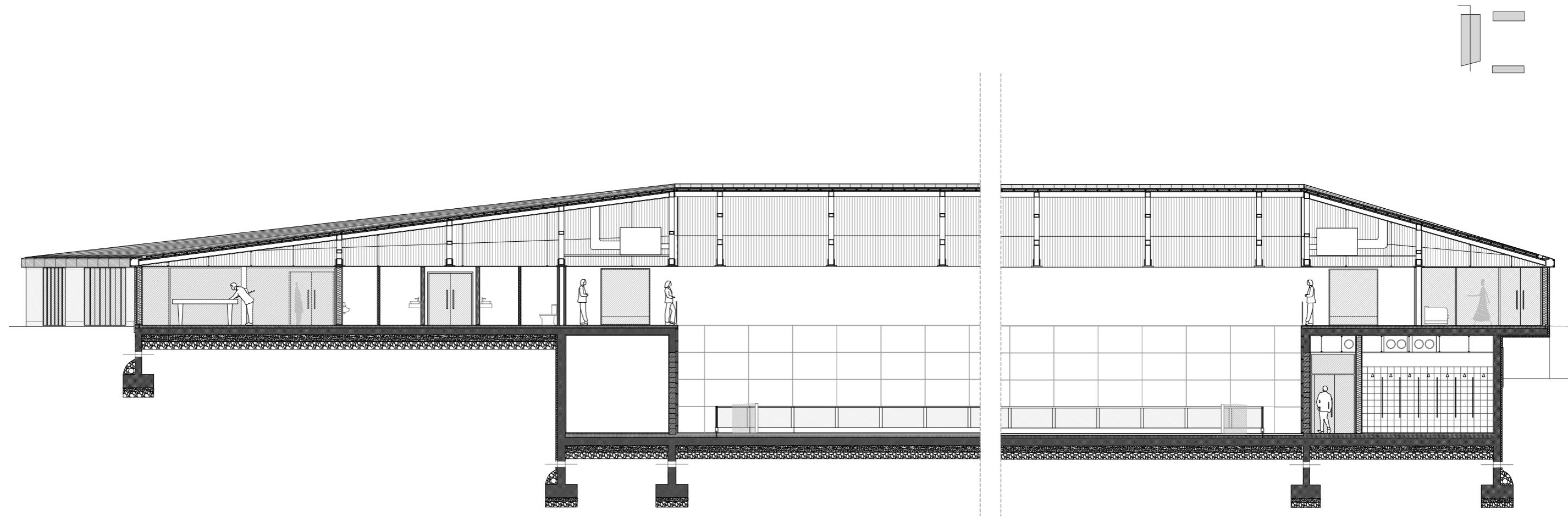
Alçado Nascente
Corte DD'

0 14m



Corte Construtivo

0 1 5m



Corte Construtivo

0 5 15m



Perspetiva Exterior da relação da
Rua Princípal com as entradas principais



Situação Atual da Rua Princípal

Modelação 3D
Vista do corredor
Pavilhão Desportivo



Modelação 3D
Vista interior Pavilhão Desportivo

Modelação 3D
Vista interior Pavilhão Desportivo



Modelação 3D
Vista interior Pavilhão Desportivo

